



Escola Tècnica Superior d'Enginyers  
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

## TESIS DE MASTER

**Máster**

**INGENIERIA AMBIENTAL**

**Título**

**"DESARROLLO DE UN ANALISIS INTEGRAL PARA MONITOREOS  
AMBIENTALES EN CUENCAS ANDINAS"**

**Autor**

**Violeta Quispe Coquil**

**Tutor**

**Agustí Perez Foguet**

**Intensificación**

**Fecha**

**Julio 2012**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo dedico en memoria a mi Padre Julio Quispe Eulogio que mientras estuvo en vida siempre ha sabido inculcarme sabias enseñanzas que hasta ahora me han fortificado, haciendo todo lo posible para que yo tuviese una buena formación y haya hecho que continúe para adelante.

A mi madre Justina mi mejor amiga incondicional pieza fundamental en cada etapa de mi vida, a mi esposo por su comprensión y apoyo constante y a mi menor hermano que día a día logra darme satisfacciones, motivaciones y madurez en sus ejemplos de vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Politécnica de Cataluña, en especial a la Escuela de Caminos y Puertos ETSECCPB por dejar que desarrollase el tema de investigación en sus ambientes modernos e instalaciones.

A Cristina Yacoub, por su tiempo, sus conocimientos, sus consejos y principalmente por la comprensión en los momentos más difíciles y por no escatimar esfuerzos en ayudar, por estar a disposición para ayudar en el desarrollo del trabajo y apoyarme durante todo el tiempo del desarrollo del estudio.

A Agustí Perez Foguet, por ser mi tutor quien me dio la oportunidad de desarrollar el trabajo de investigación.

A mis amigos de máster en especial a Jose Aldiver y Maria Paula con quienes compartí cada etapa de los estudios hasta finalizarlos.

## Contenido

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO .....	2
INDICE DE TABLAS.....	5
RESUMEN .....	6
GLOSARIO .....	7
INTRODUCCION .....	8
OBJETIVOS .....	10
General.....	10
Específico.....	10
GENERALIDADES .....	11
3.1. Metales y metaloides en sedimentos.....	11
3.2. Metales en agua .....	14
3.3. Algunos metales, efectos a la salud y ambiente .....	19
3.4. Bioindicadores.....	23
3.4.1. Los macroinvertebrados como bioindicadores .....	24
3.5. Cuenca del Jequetepeque.....	26
3.5.1. Clima .....	27
3.5.2. Situación actual y conflictos sociales en relación a la actividad minera.....	27
3.6. Cuenca Del Titicaca.....	29
3.6.1. Clima .....	31
3.6.2. Situación actual y conflictos en relación a la actividad minera.....	32
3.6.3. Estudios realizados .....	33
4. ZONA ESPECÍFICA DE ESTUDIO .....	35
4.1. Zona de estudio Titicaca .....	35
4.1.1. Datos del monitoreo de Sedimento .....	36
4.1.2. Datos del monitoreo de agua.....	36
4.1.3. Datos del monitoreo de Índice CERA.....	37
4.2. Zona del Jequetepeque .....	37
4.2.1. Datos del monitoreo de Sedimento .....	38
4.2.2. Datos del monitoreo de agua.....	39
4.2.3. Datos del Índice CERA.....	39
5. METODOLOGIA.....	42

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

5.1. Metodología para el tratamiento de datos .....	42
5.1.1. Recolección de Datos:.....	42
5.1.2. Características de la base de datos: .....	42
5.1.3. Tratamiento de la data: .....	43
5.2. Procedimiento .....	44
5.2.1. Tratamiento estadístico .....	45
5.3. Procedimientos para aplicar Análisis de componentes principales PCA .....	45
6. RESULTADOS .....	54
6.1. Resultados del análisis PCA de la zona Titicaca .....	54
.6.1.1. Resultados del análisis PCA_Agua_Titicaca.....	54
6.1.2. Resultados del análisis PCA_Sedimento_Titicaca .....	57
6.1.3. Análisis de los datos Índice Cera (IC) .....	60
6.1.4. Resultados del análisis integrando Agua, Sedimento y el Índice Cera (PCA_A_S_IC) .....	60
6.2. Resultados del análisis PCA de la zona Jequetepeque .....	63
6.2.1. Resultados del análisis PCA_Agua .....	63
6.2.2. Resultados del análisis PCA_Sedimento .....	66
6.2.3. Análisis de los datos Índice Cera_Jequetepeque (IC) .....	70
6.2.4. Análisis de componentes principales Agua, Sedimento y el Índice Cera Jequetepeque (PCA_A_S_IC) .....	70
7. CONCLUSIONES .....	75
Conclusiones zona Titicaca .....	75
Conclusiones zona Jequetepeque .....	75
8. BIBLIOGRAFIA.....	78
ANEXO .....	80
PRUEBAS DE ANALISIS DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES.....	80
Caso a) Titicaca.....	80

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Compuestos de Mercurio que alcanzan su Biomagnificación .....	20
Tabla 2. Denuncias a MYSRL.....	29
Tabla 3. Puntos de monitoreo de la zona Titicaca .....	36
Tabla 4. Índice CERA Titicaca .....	37
Tabla 5. Datos de monitoreo empleados para el análisis.....	42
Tabla 6. Modelo de los resultados de opción “Descripción univariado” .....	47
Tabla 7. Modelo de resultados "Comunalidades" .....	47
Tabla 8. Modelo de resultados "Varianza Total Explicada".....	49
Tabla 9. Modelo “Matriz de componentes rotados” .....	50
Tabla 10 Modelo de resultados “Puntuaciones” .....	51
Tabla 11 Comunalidad al extraer 3 componentes PCA_A_Titicaca.....	54
Tabla 12 Varianza Total explicada elegida PCA_Agua_Titicaca.....	55
Tabla 13 Matriz de componentes rotados elegida PCA_Agua_Titicaca .....	55
Tabla 14 Puntuación modificada de PCA_Agua_Titicaca .....	56
Tabla 15. Comunalidad PCA_Sedimento Titicaca .....	58
Tabla 16 Varianza total explicada PCA_Sedimento_Titicaca .....	58
Tabla 17 Matriz de componentes rotados <sup>a</sup> PCA_Sedimento_Titicaca.....	59
Tabla 18 Puntuaciones de factores PCA_Sedimento Titicaca .....	59
Tabla 19 Data de los Índices adaptados_Titicaca .....	60
Tabla 20. Elección de 1 variable de cada factor PCA_A y PCA_S Titicaca .....	61
Tabla 21 Resultados del PCA_S_IC-Titicaca.....	61
Tabla 22. Puntuación del PCA_A_S_IC_Titicaca .....	62
Tabla 23 Comunalidad PCA_A_Jequetepeque.....	64
Tabla 24 Matriz de componentes rotados PCA_Agua_Jequetepeque .....	64
Tabla 25 Puntuación de la Matriz PCA_Agua_Jequetepeque .....	65
Tabla 26. Comunalidades de PCA_Sedimento Jequetepeque.....	66
Tabla 27. Varianza total explicada Sedimento Jequetepeque.....	67
Tabla 28 Matriz Rotada, PCA_Sedimento_Jequetepeque.....	67
Tabla 29 Puntuación Factores PCA_Sedimento_Jequetepeque .....	68
Tabla 30. Índice CERA adaptado .....	70
Tabla 31. Variable de cada PCA_agua y sedimento.....	70
Tabla 32 Resultados del PCA_S_IC_Jequetepeque .....	71
Tabla 33. Varianza Total explicada PCA_A_S_IC_Jequetepeque.....	71
Tabla 34 Matriz rotada de PCA_A_S_IC_Jequetepeque .....	72
Tabla 35 Puntuaciones de los factores PCA_A_S_IC_Jequetepeque.....	72

## **RESUMEN**

Este trabajo se centra en el desarrollo de un análisis integral empleando monitoreos ambientales en las cuencas andinas específicamente en la cuenca del Titicaca y Jequetepeque situada en el departamento de Puno y Cajamarca \_Peru respectivamente, consiste en la aplicación asociada de los resultados de Monitoreos de agua, sedimento y calidad ecológica mediante el protocolo CERA que incluye el análisis cualitativo de macroinvertebrados.

El objetivo del estudio es analizar de manera eficaz y sencilla monitoreos ambientales y comparar estos valores entre ambas cuencas. La integración de las diferentes líneas se realizó por análisis factorial empleando una herramienta de software Estadístico, que establecerá y cuantificará las correlaciones entre las variables en el conjunto de datos con el fin de reducir componentes para una fácil interpretación de datos.

Los resultados revelaron diversas agrupaciones y comportamientos similares entre agua sedimento y 4 Índices CERA, determinando que existen en ambas cuencas mayor presencia de metales entre ellos Arsénico, Plomo y Zinc en casi todos los puntos de monitoreo, ya sea de valor mayor y/o menor presencia, indicando vigilancia en puntos que muestran significancia y riesgo a la vida acuática.

De esta manera este estudio a través de esta técnica permitió la identificación de sustancias químicas de preocupación y el establecimiento de la gama de efectos correlativamente a una concentración de contaminantes para cada zona y subcuenca de estudio.

## **GLOSARIO**

A continuación se define la nomenclatura utilizada de forma más frecuente en el documento:

ACCD: Agència Catalana de Cooperació al Desenvolupament de la Generalitat

CCD: Centre de Cooperacion para el desarrollo ó per al Desenvolupament de la Universitat Politècnica de Catalunya.

CN\_WAD: Cianuro dissociable en Ácido débil

EC: Conductividad Eléctrica uS/cm<sup>2</sup>

GPS: Sistema de Posicionamiento Global

GRUFIDES: Grupo para la Formación e Intervención para un Desarrollo Sostenible

IBI: Índices de integridad biótica

IBMWP: Iberian BioMonitoring Water Procediment

*IC: índice CERA*

IHF: Índice de hábitat fluvial

OD: Oxígeno Disuelto

PCA: Análisis de componentes principales

PCA\_A: Análisis de componentes principales de agua

PCA\_IC: Análisis de componentes principales de índices CERA

PCA\_S: Análisis de componentes principales de sedimento

PUCP: Pontificia Universidad Católica del Perú

RENAMA: Área de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Gobierno Regional de Cajamarca

SIG: Sistema de Información Geográfica

TDS: Sólidos Totales Disueltos

TSS: Sólidos Totales en Suspensión

USEPA ó EPA: *U.S. Enviromental Protection Agency*

UNC: Universidad Nacional de Cajamarca

MYSRL: Minera Yanacocha SRL

UPC: Universitat Politècnica de Catalunya

QBR: Calidad del bosque de ribera

QBR-And: Calidad del bosque de ribera Andino.



## **INTRODUCCION**

Durante los últimos años, la actividad de extracción de minerales ha crecido de manera significativa en el mundo, y el Perú ha sido uno de sus importantes campos de expansión. El país posee en efecto considerables reservas, cuya explotación se vuelve rentable a medida que el precio de los metales en el mercado internacional se incrementa. En este contexto, han surgido conflictos sociales y ambientales porque los gobiernos a pesar de contar con reformas no han logrado evitar logrando multiplicarse en torno a la actividad minera.

Resulta relevante encontrar un sistema eficaz y sencillo para evaluar la calidad del ambiente, más aún en contextos asociados a fuentes de contaminación en lugares aislados y de difícil regulación, como es el caso de la minería de cielo abierto en la cabecera de la cuenca o minerías informales.

Los efectos de la contaminación minera están generando varios estudios ambientales en la cuenca, pero muchos de ellos no son relacionados de manera que acaben desarrollando una visión más completa que incorpore varios factores (la contaminación en agua, sedimentos, en la fauna y flora), restringiendo su difusión que no se refleja en publicaciones científicas y que limita obtener herramientas útiles de normas y/o protocolos estandarizados para sedimentos, agua, flora y fauna.

Se destaca la implementación de dicho estudio con intención de iniciar bases para contribuir herramientas útiles y tener un enfoque holístico que permita determinar el estado ecológico de los ríos. Es decir, preservar y conservar de manera eficiente y acertada el estado actual de los ríos integrando todos los Monitoreos ambientales, para saber si es bueno o por el contrario, existe una afectación de éste. En este sentido se incorpora la cuantificación y correlación de metales en agua y sedimentos, así como la utilización de protocolos que permiten medir cambios en los macroinvertebrados, fauna, hidrología e hidromorfología.

Con la metodología se pretende ampliar el análisis facilitando diversos resultados y/o parámetros como está descrito en el estudio detallado. De esta

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

manera se pretende mejorar e integrar otras variables de manera que se pueda ver la alteración del recurso hídrico con una visión ecosistémica.

## **OBJETIVOS**

### **General**

- Desarrollar un análisis integral para monitoreos ambientales en cuencas andinas.

### **Específico**

- Emplear herramienta de software Estadístico, que establecerá y cuantificará las correlaciones entre las variables en el conjunto de datos con el fin de reducir componentes para una fácil interpretación de datos.
- Analizar comparativamente en zonas específicas integrando estudios realizados de la Cuenca de Jequetepeque y Titicaca de monitoreos de agua, sedimento y calidad ecológica (macroinvertebrados, QBR,IHF,CERA).
- Analizar la relación entre metales y metaloides de agua como en sedimentos presentes y los macroinvertebrados presentes en las zonas de estudio.

## **GENERALIDADES**

### **3.1. Metales y metaloides en sedimentos**

Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de metales en los sedimentos fluviales. Según su forma de asociación los metales son susceptibles o no de solubilizar durante las modificaciones fisicoquímicas estacionales (estiaje, crecida etc) La desoxigenación de las capas profundas durante el verano, ocasiona la reducción química de los óxidos asociados a la fase solida, produciendo así, la disminución de la concentración de Fe y Mn en el sedimento. La reducción de estos elementos puede ocasionar la solubilidad de ciertos metales adsorbidos en el sedimento como el Zn, Cr y Ni (El Falaki et al.,2004).

Los sedimentos puede actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación porque los metales pesados no se quedan permanentemente y pueden ser liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Forstner, 1987: Sigg et al., 2002)

En ríos contaminados por metales - metaloides, los sedimentos consisten en una mezcla compleja de varias fases geoquímicas que contienen metales potencialmente tóxicos debido a su resistencia a la descomposición química. Estos metales son almacenados en los sedimentos bajo unas condiciones determinadas, y en caso de alteración de las condiciones unas condiciones determinadas, y en caso de alteración de las condiciones físico sistema es posible que los metales almacenados sean liberados y produzcan un impacto ambiental. Cabe destacar que en el caso de los impactos producidos por actividades mineras, una de las principales fuentes de contaminación por metales está en forma de sólidos en suspensión, que acabarán depositándose en los sedimentos de los ríos (Vaithyanathan et al 1993).

En los últimos años, se han publicado diversos estudios sobre metales tóxicos acumulados en sedimentos y sus posibles efectos ecológicos y sobre la salud humana. En este sentido se señala la necesidad de medir la disponibilidad y la

movilidad de los metales en las muestras para entender su comportamiento y prevenir peligros potencialmente tóxicos (Gismera 2004).

De acuerdo con esto, para valorar la fracción biodisponible y el riesgo de ecológico particularmente interesante el conocimiento del fraccionamiento del metal sobre sus fases geoquímicas. Por último, los metales pueden presentar de una forma a otra o existir en diferentes formas simultáneamente. La forma en que se encuentran los metales, también conocida como especiación química, varía de forma muy amplia según las condiciones medioambientales. Estas diferencias en la especiación química, afectan al destino del medioambiente y a la biodisponibilidad y el riesgo que suponen al ambiente los metales. Es por todo esto, que el conocimiento de la especiación de los metales puede ser útil para valorar la retención de metales en suelos o sedimentos y con qué facilidad pueden ser liberados. (Galán et al, 2003).

#### *Análisis de movilidad*

Los metales pesados están considerados como peligrosos contaminantes inorgánicos debido a sus efectos tóxicos en los organismos acuáticos tal y como se ha descrito anteriormente. Los sedimentos funcionan como depósito para los metales pesados de diversas fuentes, reflejando la composición natural de diversas áreas cercanas, así como la actividad humana. (Chen et al 1997).

En el ambiente acuático, los metales pesados están sujetos a reacciones de precipitación, complejación, adsorción y solubilización dependiendo de las características físicas y químicas del cuerpo de agua. Las medidas de contenido total analizadas en los apartados anteriores son consideradas insuficientes si se quiere estudiar la biodisponibilidad, movilidad, y toxicidad de los metales en el medio, puesto que estas propiedades dependen sobretodo de la forma química de los componentes del sedimento (Arian 2008).

#### *Movilidad y biodisponibilidad*

Como movilidad se entiende la velocidad con la que un contaminante se distribuye en un medio y viene determinada por la transferencia de una sustancia de un medio a otro la movilidad regula la distribución del contaminante, y por tanto, su transporte a otros sistemas. La biodisponibilidad

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

se define como la fracción del metal que puede interactuar con un organismo biológico y ser incorporado a su estructura. Como consecuencia de dicha acumulación puede causar algún efecto negativo o positivo. [Forstner 1980], Ambos conceptos han de ser considerados en el análisis de suelos y sedimentos contaminados, ya que un riesgo importante en la acumulación de metales en el suelo y en los en aquellas situaciones en las que el contaminante no pierde su capacidad tóxica. Los metales almacenados en los suelos y en los sedimentos bajo unas condiciones determinadas, en caso de alteración de las condiciones físicas o química impacto ambiental en función de la cantidad y el tipo de metales liberados (Forstner 1980). El hecho de que los metales sean muy resistentes a una descomposición química, hace que sean productos peligrosos para los organismos y el medio ambiente una vez liberados. Por todo esto y para poder evaluar la persistencia y la biodisponibilidad de los metales, es importante conocer la movilidad de los metales presentes en los sedimentos. La composición del material geológico que compone los sedimentos son mezclas heterogéneas de diferentes sustancias orgánicas y organominerales como óxidos de Fe, Mn, Al, arcilla y más peligrosos contaminantes solubles como carbonato o sulfatos. Todos estos componentes interaccionan con los metales modificando la movilidad y biodisponibilidad de estos. Al depender la biodisponibilidad de la movilidad y la solubilidad de los contaminantes, los factores que regulan estos procesos influirán en ella (Perez 2005).

La contaminación de los sedimentos, prolonga el tiempo de residencia de los contaminantes en las cuencas de los ríos, retardando su transporte debido a su baja velocidad de biodegradación. La clave para entender los complejos procesos de transporte de metales en una cuenca, depende en gran medida de (i) las condiciones climáticas a las que está expuesta la cuenca (precipitaciones, humedad, etc.), (ii) el continuo intercambio entre agua y sedimentos durante las fases de asentamiento y, (iii) la re-suspensión de partículas contaminadas durante el transporte, pudiendo impactar en zonas menos contaminadas o libres de contaminación ubicadas aguas abajo. Por todo ello, en situaciones de elevada descarga hídrica, aumenta el riesgo de

dispersión de los metales por la cuenca, debido al aumento de la cantidad de sedimentos atrapados en ésta. Así, es posible que los metales acumulados en las llanuras aluviales y los cauces del río sirvan como fuentes de contaminación en un futuro. (Yacoub 2012)

### **3.2. Metales en agua**

#### *Metales y metaloides*

El término “metal y metaloides”, a pesar de ser ampliamente utilizado entre los profesionales y científicos, no tiene una base científica rigurosa o una definición química. Aunque muchos de los elementos que se enlistan en el término “metaloides o metal pesado” tienen una gravedad específica mayor que cinco, existen diversas excepciones a esta regla. (Vink et al 1999)

Estrictamente, y desde el punto de vista químico, los metales pesados están constituidos por elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides como el arsénico y selenio. Estos elementos tienen una gravedad específica significativamente superior a la del sodio, calcio, y otros metales ligeros. Por otro lado, estos elementos se presentan en diferente estado de oxidación en agua, aire y suelo y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua. ( Geesey et al 1984)

Una forma opcional de nombrar a este grupo es como “elementos tóxicos”, los cuales, de acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), incluyen a los siguientes elementos: Arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo. (Behrendt, 1997)

#### *Contaminación del agua por metales: plomo, mercurio o cadmio*

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicos y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en el

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio le provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte. El plomo es un metal escaso, se calcula en un 0.00002 % de la corteza terrestre, tiene un punto normal de fusión de 327.4 °C, un punto normal de ebullición de 1770 °C y una densidad de 11.35 g/mL. Forma compuestos con los estados de oxidación de +2 y +4, siendo los más comunes los del estado de oxidación +2. El plomo es anfótero por lo que forma sales plumbosas y plúmbicas, así como plumbitos y plumbatos. Se encuentra en minerales como la galena (sulfuro de plomo, PbS) que se utiliza como fuente de obtención del plomo, la anglosita (sulfato de plomo II, PbSO<sub>4</sub>) y la cerusita (carbonato de plomo, PbCO<sub>3</sub>). Gran parte del plomo se obtiene por reciclado de chatarras como las placas de baterías y de las escorias industriales como soldaduras, metal para cojinetes, recubrimientos de cables, etc. (Fernandez et al 1997).

La contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua que son generadas por las fábricas de pinturas, de acumuladores, por alfarerías con esmaltado, en fototermografía, en pirotécnia, en la coloración a vidrios o por industrias químicas productoras de tetraetilo de plomo (se usa como antidetonante en gasolinas) y por algunas actividades mineras, etc.

Las dos principales vías de acceso de los compuestos de plomo al organismo son el tracto gastrointestinal y los pulmones. Cerca del 10 % del plomo ingerido es excretado en la orina y en menor cantidad en el sudor, en el pelo y en las uñas. El 90 % del plomo que se encuentra en el cuerpo humano se deposita en el esqueleto óseo y es relativamente inerte, y el que pasa a través del torrente sanguíneo puede depositarse en los tejidos.

Los signos más comunes de intoxicación por plomo son los gastrointestinales y sus síntomas comprenden anorexia, náusea, vómito, diarrea y constipación, seguida de cólicos. El plomo puede afectar la síntesis de la hemoglobina y el tiempo de vida media de los glóbulos rojos, así como, al sistema nervioso central y periférico. La contaminación por el plomo en los riñones produce cambios en las mitocondrias e inflamación de las células del epitelio del túbulo



***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

proximal y alteraciones funcionales que provocan aminoaciduria, glucosuria e hipofosfaturia, síndrome de Fanconi (Soárez, 1999).

Todos los compuestos de plomo son tóxicos en diferente grado, dependiendo de su naturaleza química y grado de solubilidad de cada compuesto, los más tóxicos son los compuestos orgánicos.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos. Los compuestos de plomo en los peces les originan la formación de una película coagulante y les provoca alteraciones hematológicas. En el hombre provoca saturnismo, enfermedad que engloba trastornos nerviosos, digestivos y renales. (Singh, et al., 1999).

La Organización Mundial de la Salud recomienda que para los niños el nivel de plomo en sangre no debe rebasar los 30 mg/100 mL de sangre y tomar medidas drásticas cuando el nivel de plomo en la sangre de los adultos alcanza los 40 mg/100 mL de sangre. Limitan la exposición a compuestos inorgánicos de plomo a 50 mg/m<sup>3</sup> de aire durante un tiempo promedio de 8 horas para un trabajador sin mascarilla para respirar. Las medidas sanitarias para controlar la exposición a compuestos de plomo recomiendan el uso de ventilación, de mascarillas para respirar y ropa apropiada.

El mercurio (azogue) se ha visto siempre con fascinación y asombro porque es el único metal líquido en condiciones ambientales. El mercurio líquido no es venenoso pero sus vapores y sus compuestos son muy tóxicos, por lo que en la Edad Media se utilizaban como agentes de asesinato y de suicidio. Como el mercurio y sus compuestos son casi insolubles en agua no eran considerados, durante mucho tiempo, como contaminantes y mucho menos como contaminantes potenciales. El mercurio se utilizaba como componente de las amalgamas dentales.

En 1967 el reporte del envenenamiento de 111 personas y la muerte de otras 45 en la Bahía de Minamato, en la región costera de Japón, hizo que se pusiera atención a los compuestos de mercurio. Los pescadores, sus familias y sus gatos fueron afectados por una misteriosa enfermedad que les debilitaba los músculos, les afectaba la visión, les producía retraso mental y en ocasiones

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

parálisis y hasta la muerte. Encontraron que las aguas que recibía de las industrias (como la que fabricaba el cloruro de polivinilo, PVC) la Bahía, contenía compuestos de mercurio como el metilmercurio,  $\text{H}_3\text{C-Hg-CH}_3$ , que también era usado en pesticidas y fungicidas. Encontraron concentraciones de hasta 2000 ppm de mercurio en los sedimentos y de 1.6 a 3.6 ppb en el agua.

Posteriormente, los investigadores encontraron que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados (formar metilmercurio,  $\text{H}_3\text{C-Hg-CH}_3$ , es muy venenoso) por bacterias anaerobias en el lodo del fondo de los lagos y también por los peces y los mamíferos. Por lo que, los desechos que contienen mercurio o sus derivados que se han ido acumulando en los fondos fangosos de los lagos constituyen fuentes potenciales de contaminación y por procesos bioquímicos pueden incorporarse a las diversas cadenas alimenticias. Además los compuestos de mercurio son del tipo de sustancias acumulables en los organismos y pueden llegar a alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para ser venenosos. (Dekov et al 1997).)

La contaminación del agua por mercurio es producido por industrias químicas que producen cloro, fábricas de fungicidas y de pinturas contra hongos, de plásticos, por minas de cinabrio (sulfuro de mercurio,  $\text{HgS}$ ), en la extracción de oro y de plata por el método de amalgamación y por las refinerías del petróleo. Se considera que la mitad del mercurio extraído es arrojado al medio ambiente, una parte en forma de vapor a la atmósfera y otra en los desechos industriales al suelo y al agua. Por ejemplo, en la electrólisis del cloruro de sodio en solución se utiliza el mercurio como electrodo y cuando en la sal muera (solución concentrada de cloruro de sodio) disminuye su concentración, es desechada a las alcantarillas. Estos desechos contienen mercurio y siguen el curso del agua hasta llegar a los lagos, ríos y hasta el mar, donde pueden incorporarse a las diferentes cadenas alimenticias, reaccionar y transformarse en metilmercurio. Luego el hidróxido de sodio obtenido que está contaminado por mercurio se utiliza como materia prima de otros procesos. (Vega 1990)

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

En la agricultura se usan fungicidas de compuestos organomercuriales como el 2-cloro-4-hidroxifenilmercurio y el acetato de 2-(fenil-mercuriamino) etanol, y fungicidas de follaje como el acetato de 2-(fenil-mercuriamino)etanol.

El cloruro mercúrico,  $\text{HgCl}_2$ , es muy venenoso y peligroso por su gran solubilidad en agua (71.5 g/L a 25 °C). El fulminato mercúrico,  $\text{Hg}(\text{ONC}_2)_2$ , es soluble en agua, en solventes orgánicos y se usa como detonador de explosivos. El acetato fenilmercúrico se usa en pinturas látex como conservador y como contra el ataque de hongos o el enmohecimiento.

Los compuestos de mercurio son muy tóxico a ciertas concentraciones, en los peces ocasionan alteraciones en los epitelios branquiales y dérmicos y hasta la muerte. En el hombre los compuestos de mercurio provocan alteraciones en la mucosa intestinal e inhibición de ciertas enzimas; y en las mujeres embarazadas puede provocar trastornos teratogénicos graves, también se considera que puede producir alteraciones genéticas, lesiones renales y del sistema nervioso central y hasta la muerte.

Los compuestos alquilmercúricos son muy tóxicos y de larga duración, son de efectos destructivos del cerebro y del sistema nervioso central, donde tienden a acumularse. Se usaban como desinfectantes de semillas pero se prohibió el uso de todos los derivados del mercurio en la agricultura. Sólo se permite el uso del cloruro mercúrico y mercurioso para controlar hongos en el pasto.

Por otra parte, es probable que el hombre necesite pequeñas dosis de mercurio lo mismo de otros oligoelementos químicos que a dosis mayores resultan venenosos.

El cadmio es tóxico y el envenenamiento se produce al inhalarlo o ingerirlo, tiene gran tendencia a formar compuestos complejos acuosos en los que se une de uno a cuatro ligandos. Sus compuestos más importantes en la industria son el cianuro, la amina y varios complejos de haluros.

La contaminación del agua por cadmio es provocada por las principales áreas de aplicación que arrojan sus desechos a las alcantarillas, como son el acabado de metales, la electrónica, la manufactura de pigmentos (pinturas y

agentes colorantes), de baterías (cadmio níquel), de estabilizadores plásticos, de plaguicidas (fungicidas), la electrodeposición o la aleaciones de fierro, en la producción de fierro y zinc, y en el uso de reactores nucleares. ( Albert, 1990, Domenech 1995, Salomons y Forstner, 1995).

Los alquil y aril cadmios se usan como catalizadores y sus sales de los ácidos orgánicos (laurato, estearato, palmitato, fenolato, naftenato y benzoato de cadmio) como estabilizadores térmicos y de luz en los plásticos como el cloruro de polivinilo. El uso de estabilizadores de bario-cadmio en plásticos contaminan los alimentos almacenados en ellos.

En 1965 se informó en Japón de la muerte de más de 100 personas por contaminación por cadmio, el cual afecta principalmente a los huesos. El cadmio es tóxico para todas las formas de vida y en el hombre puede provocar daños en el aparato digestivo, en riñones y en los huesos (produce descalsificación y lesiones en la médula ósea) e inhibir algunos procesos enzimáticos. La inhalación de sus vapores produce severas lesiones en los pulmones. Además se ha observado que el cadmio tiene relación con la hipertensión arterial, la que origina enfermedades cardíacas.

### **3.3. Algunos metales, efectos a la salud y ambiente**

#### **Mercurio**

La ingestión de alimentos contaminados (sobre todo pescado) representa el mayor riesgo de intoxicación por mercurio, debido a su biotransformación y magnificación biológica a través de la cadena trófica, mientras que la baja solubilidad del mercurio en agua reduce los riesgos derivados de la ingestión de agua contaminada.

La gravedad de los daños que puede ocasionar a la población se ilustra por los episodios de intoxicación ocurridos en Minamata y Niigata, Japón, en 1956 y en 1965 respectivamente, como resultado de la ingestión de pescado conteniendo metil-mercurio procedente de las aguas contaminadas con descargas de plantas fabricantes de acetaldehído que involucraron a 2255 personas en el primer caso y a 700 en el segundo. Estos sucesos pusieron de relieve las transformaciones que sufre el mercurio en el ambiente, ya que se vertió al agua

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

como mercurio metálico y fue biotransformado a metil-mercurio, además de que fue bioacumulado a través de la cadena alimenticia. (Albaigés et al 1987). También ocurren efectos tóxicos por inhalación de vapor de mercurio, el cual daña especialmente el sistema nervioso. Las exposiciones leves están caracterizadas por pérdida de la memoria, temblores, inestabilidad emocional (angustia e irritabilidad), insomnio e inapetencia. A exposiciones moderadas, se observan desórdenes mentales más importantes y perturbaciones motoras, así como afecciones renales. Las exposiciones breves a altos niveles de vapor de mercurio pueden producir daños pulmonares y la muerte. El empleo de cosméticos y medicamentos que contienen mercurio, es una fuente adicional de exposición.

Algunos compuestos de mercurio alcanzan una considerable biomagnificación en las plantas e invertebrados acuáticos y en los peces, de los cuales se tiene algunos ejemplos a continuación:

**Tabla 1. Compuestos de Mercurio que alcanzan su Biomagnificación**

Compuesto / especie	Biomagnificación
Mercurio inorgánico y cloruro mercúrico.	
• Algas	8537
• Lenteja de agua	70
• Mejillones	664
• Caracoles de laguna	795
• Camarones	333
• Mosca de mayo	38
• Trucha arco iris	5-26
Acetato de fenilmercurio.	
• Caracol de laguna	1280
• Pulga Acuática	3570
• Mosca de mayo	900
Cloruro de metilmercurio.	
• Lucio (hígado)	2000
• Trucha arco iris (cuerpo entero)	4225- 8033

*Fuente: (Lacerda Vinket al 2003)*

### Plomo

Las intoxicaciones ocasionadas por plomo, conocidas desde la antigüedad, se han debido al consumo de bebidas contaminadas por este metal, principalmente de fabricación clandestina, como el vino. Más común, sobre todo en países en desarrollo, es la intoxicación provocada por el consumo de

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

alimentos preparados o almacenados en recipientes de barro vidriado de los cuales se desprende plomo.

En las zonas urbanas con intenso tráfico vehicular, la principal fuente de exposición al plomo resulta de la inhalación de partículas extremadamente pequeñas que persisten en el aire durante algunas semanas antes de sedimentarse y que son emitidas por los autotransportes que consumen gasolinas que contienen tetraetilo de plomo. Se ha visto que el plomo es el principal contaminante metálico en la atmósfera. En los países en los cuales se han empleado pinturas de interiores conteniendo óxidos de plomo, es común la intoxicación de niños al ingerir la pintura descascarada.

La evidencia epidemiológica muestra que puede ocurrir la inhibición de enzimas involucradas en la síntesis del grupo hemo de la hemoglobina, como la delta aminolevulínico deshidratasa a concentraciones entre 30 y 40  $\mu\text{g}/100$  ml de sangre, aun cuando no se produzcan manifestaciones clínicas. En tanto que la intoxicación en adultos ocurre a concentraciones superiores a los 80  $\mu\text{g}/100$  ml de sangre.

La intoxicación aguda se presenta acompañada de alteraciones digestivas, dolores epigástricos y abdominales, vómitos, alteraciones renales y hepáticas, convulsión y coma. En tanto que la intoxicación crónica puede involucrar neuropatías, debilidad y dolor muscular, fatiga, cefalea, alteraciones del comportamiento, parestesias, alteraciones renales, aminoaciduria, hiperfosfaturia, glucosuria, nefritis crónica, encefalopatía, irritabilidad, temblor, alucinaciones con pérdida de memoria, cólicos, alteraciones hepáticas, entre otros. No obstante todo lo anterior, la intoxicación con plomo es prevenible.

Para la biota, incluido el ser humano, el plomo es un elemento no esencial y potencialmente nocivo. Cuando este metal alcanza niveles tóxicos provoca la disminución de la fotosíntesis vegetal y el desarrollo de anemia en mamíferos. En las plantas además del efecto ya mencionado, se le atribuye la reducción en el crecimiento, en la biomasa y la transpiración; además de lesiones cromosómicas, inhibición de la división celular e interferencia con enzimas ligadas al metabolismo del nitrógeno. (USEPA )

### *Cadmio*

La población abierta se expone a él principalmente a través de la cadena alimenticia, aunque también por el consumo de tabaco contaminado con cadmio presente en los fertilizantes fosfatados. El cadmio se acumula en el organismo humano, fundamentalmente en los riñones, causando hipertensión arterial. La absorción pulmonar es mayor que la intestinal, por lo cual, el riesgo es mayor cuando el cadmio es aspirado. (Albert 2000)

La concentración crítica en la corteza renal, que da lugar a una prevalencia de 10% de proteinuria de bajo peso molecular en la población en general, es aproximadamente de 200 mg/kg y se alcanza con una ingestión alimentaria diaria de unos 175 µg por persona durante 50 años. Partiendo de una tasa de absorción de cadmio vía los alimentos de 5% y de una tasa diaria de excreción de 0.005% de la carga corporal se estableció un nivel de ingestión semanal tolerable provisional de 7µg/kg.

En la ciudad de Toyama, en Japón, ocurrió un brote epidémico de intoxicación (síndrome de Itai-Itai), ocasionado por la ingestión de arroz contaminado con cadmio, el cual era irrigado con agua contaminada por jales mineros. Las personas afectadas, principalmente mujeres post-menopáusicas, sufrieron deformación de los huesos, acompañada de intenso dolor y fracturas, además de proteinuria y glaucoma. Se considera que estas alteraciones, se produjeron favorecidas por factores dietéticos, como deficiencia en vitamina D.

El cadmio ha sido asociado con la aparición de cáncer en animales de experimentación, así como con casos de cáncer de próstata en humanos (Salomons 2005)

La acumulación de contaminantes en los lagos, ríos y mares provoca diferentes efectos en sus características físicas, químicas y biológicas de diferente manera, en casos como los de algunas partículas sedimentables o de colores sus efectos son limitados o de pocas consecuencias y en otros casos como el cambio de temperatura o putrefacción de materia orgánica causa efectos dañinos transitorios pero severos. La putrefacción de la materia orgánica en el agua produce una disminución de la cantidad de oxígeno (la cual es evaluada mediante la Demanda Bioquímica de oxígeno, DBO, que causa graves daños a



la flora y fauna acuática, pero que desaparece al término del proceso de putrefacción. (Cabot et al., 2006).

### **3.4. Bioindicadores**

#### **Definición**

Los efectos de una alteración de las condiciones del medio donde una comunidad habita pueden evidenciarse a diferentes niveles. Si la perturbación es muy grande (por ejemplo una contaminación por vertidos domésticos que agota el oxígeno del agua) los efectos se notan a nivel de toda la comunidad, con la única presencia de algunas especies tolerantes. Perturbaciones intermedias (por ejemplo un incremento de nutrientes) pueden dar lugar a otros cambios menos drásticos, como la desaparición de algunas especies, el incremento de la densidad de otras ya presentes o la aparición de terceras, que son más tolerantes al factor de estrés. Finalmente, algunas perturbaciones (un ligero incremento de las sales por ejemplo) pueden no modificar la estructura de la comunidad pero sí dar lugar a otros cambios no perceptibles a nivel de comunidad pero sí a nivel individual. Este es el caso de la presencia de tóxicos en el agua, que induce respuestas metabólicas en los organismos para intentar compensar el problema generado por las condiciones del medio. Si las concentraciones son bajas, pueden no producirse cambios en la presencia o abundancia de la especie pero sí cambios en la utilización de ciertas vías metabólicas o en las propiedades del material genético. Entonces, es posible detectar el estrés generado para esta especie mediante estos cambios. A los indicadores que no producen cambios estructurales se les denomina biomarcadores para diferenciarlos de los que sí detectan estos cambios denominados bioindicadores. Los biomarcadores pueden ser bioquímicos, fisiológicos, histológicos (daños en tejidos) o genéticos (daños en el material hereditario) y pueden ser cambios transitorios o permanentes. Esta es un área emergente en el estudio de los macroinvertebrados acuáticos. Aunque éstos han sido usados de forma habitual en estudios de ecotoxicología, todavía son poco utilizados en programas de monitoreo y vigilancia, puesto que todavía no se han elaborado suficientes estudios que permitan su aplicación, es por esto que todavía siguen en fase de estudio (Dominguez E. y Fernandez eds.2009).



### **3.4.1. Los macroinvertebrados como bioindicadores**

Los organismos macroscópicos son fácilmente visibles al ojo humano y dentro de estos se encuentran los macroinvertebrados, los cuales por estar en contacto directo al medio acuático, son un reflejo real en el tiempo de las condiciones del ecosistema en que se desarrollan. Los profesionales discuten los problemas de contaminación y eutroficación, los biólogos lo hacen en relación a la presencia o ausencia de especies claves del ecosistema acuático. La contaminación es esencialmente un fenómeno biológico por lo que su efecto primario será sobre los seres vivos del ambiente acuático.

De manera que considerando la abundancia relativa de estos organismos acuáticos en relación a los cambios ambientales antropogénicos (principalmente en la disponibilidad de oxígeno) es posible categorizar estos grupos (Taxones) de organismos con respecto al grado de sensibilidad a la contaminación orgánica, considerando como factor limitante al oxígeno disuelto. (Rosenberg Eds.1993).

Los macroinvertebrados son los organismos más ampliamente usados como bioindicadores en la actualidad

El uso de muchas especies en estudios experimentales sobre los efectos de la contaminación. Los macroinvertebrados son preferidos para ser utilizados como bioindicadores de la calidad del agua. (RESH, V.H.,2008).

Los métodos utilizados:

a) Índices Unimetricos .:

- Métricas simples:

Son la manera más sencilla de evaluar la calidad biológica. Se realiza mediante un valor que mide una característica clave de la comunidad que responde de forma clara a la perturbación que nos interesa caracterizar, por ejemplo la riqueza específica. La métrica más sencilla es el número de taxa, que en principio se reduce con la frecuencia o intensidad de las perturbaciones, ya sean por contaminación o por destrucción del hábitat. (Miquel B. 2011)

En América del Sur la aplicación de índices unimétricos está bastante extendida. Se debe utilizar las métricas considerando dos posibles causas de disfunción:

1. Géneros de amplia distribución: la tolerancia a las perturbaciones de los taxa adaptados a distintas condiciones ambientales puede ser variable. Al utilizar índices a nivel de orden o incluso familia se puede mal interpretar la información, dando resultados erróneos sobre la calidad ecológica.

2. Patrones geográficos de distribución de la taxa: es necesario tener en cuenta que los distintos órdenes y familias de macroinvertebrados presentes en América del Sur muestran patrones latitudinales y altitudinales distintos (FERNÁNDEZ, H. R. eds.. 2009).

- Índices bióticos:

Es la manera más común de establecer la calidad biológica de los ríos. Se suelen expresar en forma de un valor numérico único que sintetiza las características de todas las especies presentes. Habitualmente consisten en la combinación de dos o tres propiedades de la asociación: la riqueza de taxa y la tolerancia/intolerancia a la contaminación para los índices cualitativos, u estos junto a la abundancia (absoluta o relativa) para los índices cuantitativos.

En la actualidad, los índices bióticos para macroinvertebrados más populares son los basados en el método Biological Monitoring Working Party (BMWP) (ARMITAGE, P 1983). Este índice combina el número de taxas totales con un valor de tolerancia/intolerancia. En este caso el nivel taxonómico es el de familia y el valor final se obtiene de una sumatoria de los valores de intolerancia de cada una de las familias, que van de 0 a 10. El índice se incrementa cuantas más familias intolerantes haya, aunque pueden darse valores altos con muchas familias de puntuación intermedia. También se calcula el Average Score per Taxon (ASPT) dividiendo el valor final del índice BMWP por el número de familias que representa el valor medio de tolerancia de la comunidad. Este índice se ha adaptado en muchos lugares: Europa, Australia, América del Sur, etc. (Dominguez eds.. 2009)

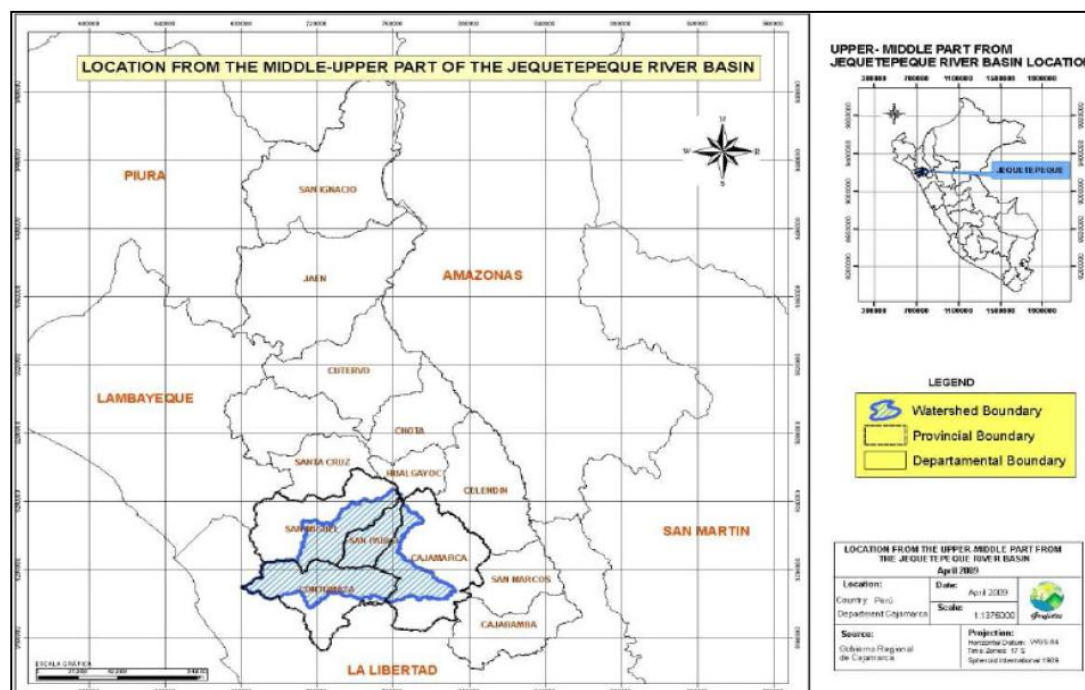
b) Índices multimétricos:

Estos índices combinan el valor independiente de diversas métricas que pueden ser métricas simples o índices bióticos. La combinación de métricas es característica de cada índice. Se suele adaptar para cada zona pudiendo ser esta desde una región hasta una subcuenca en un mismo río.

### 3.5. Cuenca del Jequetepeque

La cuenca del Jequetepeque (4372,5 km<sup>2</sup>) está situada al norte de Perú (ver Figura 1). El río fluye del este al oeste, hasta el océano Pacífico. La precipitación anual media está entre 0 y 1100 mm. La altitud de la cuenca va desde 0 a 4188 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). La represa del Gallito Ciego (400 m.s.n.m.) separa la parte media-alta de la parte baja de la cuenca. Allí almacena agua para el suministro de los habitantes de las grandes ciudades de la costa y para uso de los campos de cultivo agrícola de tipo extensivo. La parte media-alta de la cuenca cubre 3564,8 km<sup>2</sup>. Su altitud varía de 400 a 4188 m.s.n.m. en menos de 80 km, con pendientes del 20%. La mayoría de actividades productivas son agricultura, ganadería y minería y cerca del 80% de la población es rural.

La actividad minera ha proliferado bastante en los últimos años en la cuenca, y las concesiones ya otorgadas a nuevas empresas mineras hacen pensar que seguirá aumentando durante los próximos años (el total de territorio actualmente concesionado representa el 36,8% de la extensión total de la cuenca. (Echave J, 2009).



**Figura 1.** Mapa de la Cuenca del Jequetepeque en el departamento de Cajamarca. *Fuente:* YACOU B. (2009)

### **3.5.1. Clima**

La cuenca del río Jequetepeque se encuentra bajo la influencia del pacífico y del Atlántico. Las precipitaciones relativamente escasas en la zona cercana a la Costa se deben principalmente a la temperatura de las aguas de la Costa peruana, mientras que las precipitaciones de la parte superior dependen del clima de la cuenca del Amazonas y de la humedad proveniente del Pacífico. Los resultados de las observaciones de todas las estaciones tienen en común la separación marcada entre el periodo de lluvias y el periodo de sequía, en verano e invierno, respectivamente.

El volumen anual de precipitaciones es obviamente una función de la altura sobre el nivel del mar, dependiendo además de la distancia hacia la costa, aunque en menor medida. Las partes superiores de la cuenca se observan precipitaciones anuales mayores que 1000 mm. Teniendo en cuenta la altura, las precipitaciones anuales se distribuyen en su mayoría más o menos uniformemente durante 8 meses. Las temperaturas varían según la altura. En la costa en la zona de irrigación, la temperatura media anual se presenta alrededor de 23°C con una fluctuación mensual de aprox. 7° C en el transcurso del año. En las partes superiores las temperaturas anuales promedio se presentan entre 8 y 14°C. La temperatura anual media varía desde los 25,4°C en la represa hasta menos de 4°C en la parte alta. (DESA 2006).

### **3.5.2. Situación actual y conflictos sociales en relación a la actividad minera**

Una de las características del conflicto minero es la polarización de las posiciones de las comunidades locales debido a prácticas empresariales que no tienen en cuenta la opinión de las poblaciones y a la ausencia del Estado en esas localidades. A ello se suman la falta de información y las condiciones estructurales de pobreza. La situación se agrava cuando el Estado deja de asumir un rol fiscalizador de la gestión ambiental, priorizando la inversión sobre la mejora de la calidad de vida de las poblaciones sin asumir el de garante de las condiciones ambientales (Barrientos-Alvarado H). Dentro del contexto latinoamericano es usual que la empresa negocie con el gobierno central por un lado y de otro con las comunidades locales separadamente. Hay muy poca comunicación entre el gobierno central y las comunidades locales. Hasta el

momento, el principal rol que ha jugado el gobierno central ha sido el de establecer previamente el régimen legal y fiscal, las regulaciones ambientales y los principales proyectos de infraestructura, para luego otorgar la licencia para la explotación minera (Yacoub C, 2007)

El efecto de la débil comunicación entre el gobierno y las comunidades locales es que casi todos los ingresos fiscales se destinan al nivel central y que muy pocas comunidades se benefician de estos recursos. Existiendo así, muy pocas provisiones con respecto a los beneficios económicos locales o a temas sociales y culturales. Incluso siendo clara la existencia de regalías a organismos no centrales, las comunidades pueden llegar a no ver materializado ningún tipo de beneficio (Yacoub C, 2007).

A pesar de que MYSRL constituye un caso de “nueva minería” desde el punto de vista tecnológico, la relación con la población está marcada por el aprovechamiento de la enorme disparidad de poder y recursos a favor de la empresa, una de las minas de oro más grandes del mundo. Esto ha generado problemas reiterados (Tabla 2) y un descontento creciente de acuerdo a la tanto entre los campesinos afectados directamente después de las protestas de 2004, MYSRL se propuso cambiar de estrategia de relación comunitaria y adoptar un modelo más serio de responsabilidad social; al mismo tiempo, diversas agencias e instancias del Estado se propusieron cumplir funciones de intermediación y diálogo, buscando establecer relaciones armónicas entre la empresa, el Estado, las poblaciones afectadas por la actividad minera y los diversos actores de la sociedad civil de Cajamarca. Sin embargo, hasta la fecha, las cosas no parecen haber cambiado demasiado. (Revesz-Ricard 2009).

**Tabla 2. Denuncias a MYSRL**

DENUNCIAS CONTRA YANACOA			
FECHA	SUCESO	LUGAR	RESULTADO
Nov. 1993	Derrame de sustancias químicas en campos de exploración	Quilish	Alopesia de ovejas. Dolores estomacales en la población
Set. 98	Se detecta altas concentraciones de metales pesados en aguas que abastecen planta de El Milagro	Quebrada Encajón	Población de Cajamarca en riesgo
Dic. 1998	Relaves mineros de Sipán sobre el río Llapino	San Pablo, San Miguel	Muerte de peces en 20 km de río Llapino
Dic. 98	Derrame de nitrato de amonio por accidente de transporte	Tembladera a Chilete	Muerte de peces en río Jequetepeque
Ene. 2000	Relaves de Yanacocha con arsénico	Granja Porcón hasta el Gallito Ciego	Muerte de peces en 180 km de la cuenca del Jequetepeque y de 12,000 truchas en piscigranja de Granja Porcón
Ene. 2000	Relaves de Yanacocha	Cuenca del río Llaucano	Muerte de truchas en el río Llaucano
Jun. 2000	Derrame de mercurio	Chotén, San Juan, Choropampa, Magdalena	Intoxicación de más de 1,200 personas
Ago. 2000	Mercurio en viviendas y colegio de la ciudad de Cajamarca	Jr. Ayacucho y CE Rafael Loayza	Intoxicación de aprox. 40 personas
Ene. 2001	Relaves de Yanacocha	Cuenca del río Llaucano	Muerte de 10,000 truchas en piscigranja El Ahijadero y el río Llaucano
Ene.-Mar. 2001	Dos derrames de petróleo e hidrolina en cuenca del río Jequetepeque	Río Jequetepeque	Paralización de la actividad pesquera. Intoxicación de pobladores
Mar. 2001	Presencia de metales pesados en Río Grande y pH ácido en aguas que abastecen Cajamarca	Puruay	Muerte de truchas en Río Grande y piscigranja de la Posada del Puruay, a 4 km de Cajamarca ciudad
Ago. 2001	Fuerte acidez de aguas	Piscigranja de Granja Porcón	Muerte de truchas

*Fuente: Archivos ECOVIDA-2001*

### 3.6. Cuenca Del Titicaca

La cuenca está ubicada en la meseta de Collao en los Andes centrales a una altura promedio de 3810 msnm entre los territorios de Bolivia y Perú (ver Figura 2) ocupa una extensión de 8.400 Km<sup>2</sup> y embalsa un volumen de 932 millones de m<sup>3</sup>. Posee un área de 8.562 km<sup>2</sup> de los cuales el 56% (4.772 km<sup>2</sup>) corresponden al Perú y el 44% (3.790 km<sup>2</sup>) a Bolivia y 1125 km de costa; su profundidad máxima se estima en 281 metros y se calcula su profundidad media en 107 m. Su nivel es irregular y aumenta durante el verano austral. Está formado por dos cuerpos de agua separados por el estrecho de Tiquina, el más grande situado al norte es denominado lago Mayor o Chucuito tiene una superficie de 6450 km<sup>2</sup>, estando en esta parte su mayor profundidad (283 m),



**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

cerca de la isla Soto. El otro cuerpo más pequeño llamado Menor o Huiñamarca situado al sur tiene una superficie de 2.112 km<sup>2</sup>, con una profundidad máxima de 45 metros. El lago Titicaca se encuentra entre las cordilleras andinas en una cuenca de alrededor de 58.000 km<sup>2</sup>. Es el lago navegable más alto del mundo y ocupa el lugar 19º del mundo por superficie.



**Figura 2.** Mapa satelital de la cuenca del Titicaca. *Fuente: Google earth*

Dicha reserva natural se comunica con los lagos Uru Uru y Poopó por medio del Río Desaguadero. La superficie media de dichos lagos, que se encuentran a 3.686 msnm, es de 3.191 km<sup>2</sup>. A su vez, y sólo durante años muy húmedos se comunica el Lago Poopó con el Salar de Coipasa, situado a 3.657 msnm, por medio del Río Laca Jahuirá. El altiplano del Sistema está enmarcado por la Cordillera de los Andes que se bifurca al sur de Perú en dos ramales, la Cordillera Occidental y la Oriental o Real.

Tanto La Rinconada como las pampas de Ananea se encuentran en el distrito de Ananea, en la Provincia de San Antonio de Putina, distantes 18 kilómetros una de la otra. De esta zona nace el río Crucero que es parte de la cuenca del río Ramis. La Rinconada y la zona de Ananea es un claro ejemplo de los perjuicios de la actividad minera informal, y hay que tener en cuenta que la

minería informal opera en más de 320 centros de explotación en el Perú. La situación que vive el Río Ramis debe tomarse como experiencia para lo que seguirá sucediendo si el Estado no encara esta situación. (Santillana M, 2008)

### **3.6.1. Clima**

La temperatura promedio anual del lago es de 13 °C, en tanto que el clima en la región del lago es de naturaleza extrema, con grandes variaciones de temperatura que se acentúan en función a la lejanía del lago y aumento de altura. Las pluviometría aumenta en los meses del verano austral (diciembre a marzo) y cae drásticamente en los meses de invierno (abril a noviembre). En verano son frecuentes las tormentas sobre el lago y la zona circundante, así como las inundaciones en zonas de nivel 0 sobre el lago.

Más de 25 ríos vacían sus aguas en el Titicaca, los más grandes son: (CEDEFOA-PELT. 2003).

- Río Ramis Este río nace con el nombre de río Carabaya en la laguna de la Rinconada, recorre paralelo a la cordillera de Carabaya con rumbo noroeste hasta el distrito de Potoni en donde cambia su curso con rumbo al sur. Recibe el nombre de río Azángaro desde su confluencia con el río Ñuñoa y desde su confluencia con el río Ayaviri pasa tomar el nombre de río Ramis, en el distrito de Achaya, desde donde toma rumbo este y describe una curva hasta su desembocadura en el lago Titicaca en el distrito peruano de Taraco. El río Ramis cuenta con una longitud aproximada de 32 km, una cuenca hidrográfica de 14 684 km<sup>2</sup>, y un caudal medio anual de 76 m<sup>3</sup>/s. Sus aguas se ven incrementadas por los deshielos de Quenamari y Quelcayo.(Municipio Puno 2012).
- Río Llave este río nace con el nombre de río Huenque y recorre de sur a norte la provincia del El Collao, recibe el aporte importante del río Aguascalientes y pasa a llamarse río Llave. Desemboca en el lago Titicaca por el lado sur. Cuenta con una cuenca hidrográfica de 7705 km<sup>2</sup>, y un caudal medio anual de 39 m<sup>3</sup>/s.
- Río Coata este río nace de la confluencia de los ríos Lampa y Cabanillas en el distrito de Juliaca. El río Lampa nace de los deshielos del nevado Jatun Punta, mientras que el río Cabanillas nace de la laguna Lagunillas.



Este río desemboca en la bahía de Chucuito en el distrito de Coata. Cuenta con una cuenca hidrográfica de 4552 km<sup>2</sup>, y un caudal medio anual de 52 m<sup>3</sup>/s.

- Río Huancane También conocido con el nombre de río Putina en su curso superior, sigue una dirección de norte a sur, para luego desaguar en el extremo norte del lago Titicaca. Cuenta con una cuenca hidrográfica de 3542 km<sup>2</sup>, y un caudal medio anual de 20 m<sup>3</sup>/s.
- Río Suches: Este río nace en la cordillera de Carabaya o cordillera Real, en la laguna de Suches. Recorre con rumbo norte-sur hasta su desembocadura en el lago Titicaca en la localidad boliviana de Escoma. Cuenta con una cuenca hidrográfica de 2822 km<sup>2</sup>, y un caudal medio anual de 11 m<sup>3</sup>/s. Su principal afluente es el río Grande, con el cual confluye en el distrito de Cojata. (Municipio Puno 2012).

### **3.6.2. Situación actual y conflictos en relación a la actividad minera**

A mediados de la década de los noventa, empresas mineras informales se instalaron en la Provincia de San Antonio de Putina para dedicarse a la explotación de oro en dos modalidades: la explotación de socavón en la zona de La Rinconada, y los lavaderos de oro en la zona de Ananea. Los desechos de este proceso, contaminan la cuenca del río Ramis, comprometiendo a su vez al lago Titicaca. Para tratar este grave problema ambiental, que tiene repercusiones sociales igualmente dramáticas, el Instituto del Perú organizó el pasado 23 de octubre el conversatorio “Minería informal: caso del Río Ramis”, que tuvo como ponente al investigador (Santillana 2008), quien desarrolló un importante trabajo de campo sobre el tema. Miguel Santillana explicó el problema y las consecuencias que genera el ejercicio de la minería informal en la provincia de San Antonio de Putina, asimismo hizo referencia a las insuficientes acciones políticas para contrarrestar el daño.

Estos terrenos tienen depósitos aluvionales que contienen oro y pertenecen al Estado peruano pero antes de su proceso de privatización, los terrenos son invadidos por la población lugareña que es influenciada por mineros informales que provienen de Madre de Dios. De esta manera se organizan empresas informales con participación de las Comunidades Campesinas. Estas empresas

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

no son precisamente pequeñas, pues utilizan maquinarias pesadas (removedoras de tierra y volquetes que se alquilan en el lugar). Al remover el terreno acumulan el material al que aplican agua a presión y mercurio para “atrapar el oro”. Por cada poza se extrae más de 50 gramos al día. Sin embargo también se permite que mineros “libres” paguen un derecho por extraer oro de las pozas. En la zona de La Rinconada cada cooperativa tiene asignado un socavón y cada trabajador debe comprar su uniforme y equipo y trabajar 23 días para la cooperativa y 7 días para él. El material extraído se procesa en molinos donde se aplica mercurio, y los desechos se tiran a los riachuelos que terminan en la laguna, la misma fuente de la que se extrae el agua para el consumo humano.

### **3.6.3. Estudios realizados**

Las evidencias de los estudios realizados, dan cuenta que el Lago Titicaca, más específicamente en la parte norte, existe presencia de metales pesados acumulados en la vegetación acuática, que los campesinos usan como forraje para el ganado (totora y llacho); una reciente investigación científica a cargo de una prestigiosa Universidad Norteamérica y la Universidad Nacional del Altiplano de Puno han llegado a la conclusión que existe un alto porcentaje de presencia de mercurio en la carne de los peces que se extraen de la cuenca del río Ramis y la cuenca de afluencia del Titicaca.( Gammons et al., 2003).

Se ha obtenido diversos informes relativos al estado ecológico del lago Titicaca y su entorno, tanto en relación a la afectación de metales traza en peces como en el medio acuático. Se destacan un total de 16 informes con datos relativos a la calidad del agua en la cuenca del Titicaca. Concretamente, se dispuso de información relativa a las concentraciones obtenidas en diversos puntos de la cuenca desde el año 2006 hasta el 2011, recopilados por varias instituciones. Se destacan los informes realizados por el Instituto del Mar del Perú (IMARPE), la Dirección de Medio Ambiente de la DIREPRO Puno y Colecbi S.A.C. Adicionalmente se dispuso de información cartográfica proporcionada por la página web del MED, del IMARPE y de la Dirección de Recursos Hidrobiológicos del PELT.

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

Por lo manifestado, aún cuando las investigaciones académicas no necesariamente han influenciado a las comunidades a tomar parte de lucha cotidiana como protagonista de los conflictos socio ambientales, sino que los impactos directos que son objeto las comunidades, hoy en día promueven a que estas comunidades se organicen y se enfrenten a poderosas empresas mineras, aún cuando sus protestas no son consideradas justas o válidas por los gobernantes del turno y sus aliados.

Aún cuando la exacerbación de los conflictos ambientales no ha tenido la atención debida, en los últimos años las comunidades locales han encontrado aliados ambientalistas tanto en el sistema internacional y regional como lo que ocurre con los diversos pueblos indígenas de América Latina, como es el caso de Consejo Indio de Sudamérica (CISA), la Coordinadora Comunidades Indígenas de la Cuenca Amazónica (COICA) entre otras. Estas alianzas, han fortalecido y con ellos han conllevado a fortalecer su obstinación en la defensa del medio ambiente, recursos naturales y derechos humanos.

Por tanto, bajo estos acontecimientos tanto la subjetividad de las comunidades afectadas y los resultados de las investigaciones científicas demuestran que la actividad minera antes que combatir el hambre y la pobreza de estas comunidades han encontrado fuertes resistencias, ven ellos, un aliado cada vez más alejado para su desarrollo endógeno.

## 4. ZONA ESPECÍFICA DE ESTUDIO

### 4.1. Zona de estudio Titicaca

El área de estudio se ha delimitado por datos del monitoreo del “Estudio para el Desarrollo de un Sistema de Monitoreo de medio Ambiente en la zona del lago Titicaca (Yacoub-Miralles 2012). Cuyos puntos pertenecen a las zonas de Coata, Ramis, Huancane y Suches (Ver Figura 3).

En base al estudio (Yacoub 2012) de los 12 puntos mencionados, en la tabla 3 se consideró 7 puntos para el análisis, considerando que los estudios de sedimento e índice CERA mantenían los mismos puntos entre si.



Figura 3. Mapa de las zonas de monitoreo Subcuenca Coata, Ramis, etc.  
Fuente: Yacoub 2009

**Tabla 3. Puntos de monitoreo de la zona Titicaca**

Coordenadas UTM		Código	Subcuenca	Río
X	Y			
369685	8292676	C1	Coata	Afluente del río Coata procedente de Lampa
371562	8291093	C2	Coata	Afluente del río Coata procedente de Isla
358964	8367151	A1	Ramis	Río Azángaro aguas arriba de la ciudad de Azángaro
429120	8361120	H1	Huancané	Río Huancané aguas abajo de las mineras de la zona de Ananea
431930	8382276	A0	Ramis	Río Azángaro aguas abajo de las mineras de la zona de Ananea
402023	8275627	C-D	Coata	Desembocadura del río Coata
417973	8306133	R-D	Ramis	Desembocadura del río Ramis

Fuente: Yacoub Miralles 2012

#### 4.1.1. Datos del monitoreo de Sedimento

Los datos de sedimento del Titicaca fueron obtenidas del estudio Yacoub 2012 Cuyas características indicamos a continuación.

- Metales y metaloides a monitorear:
  - El contenido total de As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Al, Fe, Mn y Sb
- Número de muestras: 9
- Periodicidad: para el presente estudio se realiza una única campaña de monitoreo, por lo que no se tendrá en cuenta la periodicidad y la
- Zonas específicas de estudio: detalladas anteriormente en la tabla 3.

Para las estaciones a monitorear, el interés a estudiar es la posible afectación minera en las estaciones establecidas por el estudio. En esas estaciones resulta necesario ir ligeramente aguas abajo del punto de la perturbación (alteración de la calidad ambiental) para hacer el monitoreo, teniendo en cuenta también las mismas condiciones que debe presentar el tramo del río que en la estaciones de monitoreo de referencia.

#### 4.1.2. Datos del monitoreo de agua

La información es obtenida del informe Colecbi SAC realizados en el mes de noviembre 2011 que fueron empleados para nuestro análisis, dicho trabajo presenta un diseño de monitoreo específico para la cuenca del Coata,

Huancané y Ramis validado dichos datos por haberlo realizado la Corporación de laboratorios acreditados.

- Metales a monitorear:: 32:metales ( Al, As, Ba, Bo, Cd, Ca, Cu, Cr, St, Sn, P, Fe,Li, Mg, Mn, Hg, Pb, K, Se, Si, Na, Titania, Vanadio, Zinc...)
- Periodicidad: una sola vez , noviembre 2011
- Frecuencia: un monitoreo.

#### 4.1.3. Datos del monitoreo de Indice CERA

La información fue obtenida del mismo estudio realizado en sedimento (Yacoub 2012). Dicho estudio realizo ambos monitoreos cuyos resultados mostramos en la Tabla 4. Para que el muestreo sea lo más representativo posible, las mediciones de los parámetros físico-químicos y la toma de muestras de macroinvertebrados deben realizarse en puntos que representen los tipos de hábitats presentes en la zona de estudio.

**Tabla 4. Indice CERA Titicaca**

Puntos	IHF	QBR	ABI	CERA
R-D	45	87	26	malo
S-1	35	60	28	malo
T-1	55	53	34	malo
H-1	45	87	30	regular
A-1	55	47	67	regular
A-0	28	33	16	pésimo
C-D	51	67	23	pésimo
C-2	37	67	36	malo
C-1	40	40	37	pésimo

#### 4.2. Zona del Jequetepeque

El área de estudio ha empleado los datos del monitoreo de tres zonas de la cuenca del Jequetepeque: la subcuenca del Rejo, la subcuenca del Llapa y la subcuenca del Alto Jequetepeque . Como se puede observar en la Figura 4, las dos primeras subcuencas fueron tomadas como principal dato para el análisis, se encuentran ubicadas en la parte alta de la cuenca (siendo por tanto considerados captadores de agua) y presentan influencia minera.



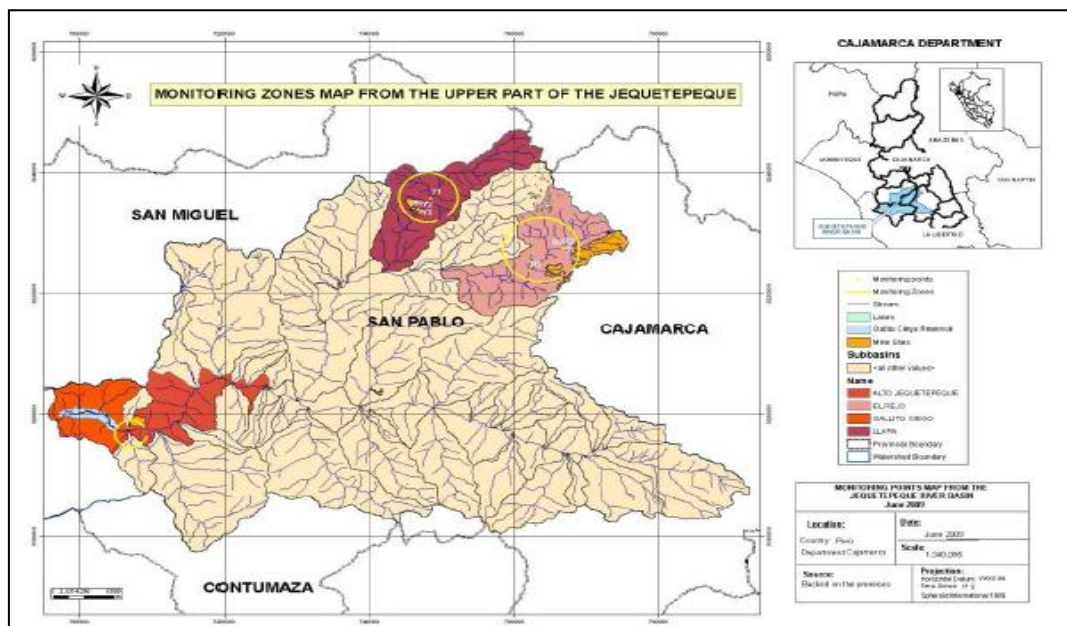


Figura 4. Mapa de las zonas de monitoreo, subcuenca Rejo, Llapa y otros.  
Fuente: Yacoub 2009

#### 4.2.1. Datos del monitoreo de Sedimento

Los datos empleados para el estudio fueron utilizados del Estudio: “Estudio sobre metales pesados en sedimentos en la cuenca del Jequetepeque, Perú” (Planas, 2010). Que de manera breve se indica la información de los resultados de sedimento.

- La definición de los límites del monitoreo en cuanto a localización, periodicidad y diseñados en un estudio previo [Garau 2009]
  - Metales a monitorear: Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Fe, Mn, Pb, Ni, Zn, Sb y Sn
  - Número de muestras
  - Periodicidad: dos veces al año, una al final de la estación húmeda, y otra al final de la estación seca.
  - Frecuencia: por duplicado en la estación seca y la húmeda
  - Zonas específicas de estudio:

Se recogieron todas las muestras, homogeneizando los sedimentos de varias partes de un mismo río, en los puntos planificados y se recogieron también un 10% de réplica precisión en las operaciones de campo y de distribución espacial y la heterogeneidad más número de muestras. Las réplica usarse para comparar análisis dependen de la variabilidad o precisión de ambas

operaciones de campo y laboratorio (además de variabilidad misma entre las réplicas de un punto), por lo que podrían resultar difíciles los registros de sedimento (Planas 2010)

#### **4.2.2. Datos del monitoreo de agua**

La información es obtenida del estudio “Control de la calidad de aguas y sedimentos para el estudio del impacto por metales en la cuenca con actividad minera del Jequetepeque, Perú” (Garau 2009). A partir de este trabajo desarrollado entre junio y noviembre 2009 se ha continuado monitoreos cumpliendo los mismos protocolos, durante el año 2010 que fueron empleados para nuestro análisis, dicho trabajo presenta un diseño de monitoreo específico para la cuenca del Jequetepeque y validado mediante su trabajo de campo. Los parámetros de mayor interés que se deciden analizar son los metales totales en el agua (ver en la tabla 4) y la especiación de metales en los sedimentos, considerando:

- Parámetros a monitorear: 32 parámetros pH, EC, TSS, TDS, Cloruro, CN WAD y Total, Nitrato-Nitrito, NH<sub>4</sub>, Sulfato, Al, As, Cd, Ca, Cu, Cr, Fe, Mg, Pb, Ni y Zn...
- Periodicidad: dos veces al año, una al final de la estación húmeda, y otra al final de la estación seca.
- Frecuencia: por duplicado en la estación seca y la húmeda

#### **4.2.3. Datos del Índice CERA**

Los datos de monitoreo fueron realizados en base al estudio “Propuesta de un protocolo de evaluación de calidad ecológica en la zona minera de la Cuenca del Jequetepeque, Perú” (Bonet M, 2011). Los resultados de este estudio fueron empleados para el análisis

Realizándose mediante el protocolo de Calidad Ecológica de Ríos Andinos CERA. Obteniendo 4 grupos con las calificaciones de: Índice de hábitat fluvial (IHF), Calidad del bosque de ribera andino (QBR-And), Índice biótico andino (ABI)

#### **4.2.4 Macroinvertebrados**

Mediante el estudio estos datos se obtuvo luego una primera campaña de monitoreo como prueba piloto. La utilización de macroinvertebrados como



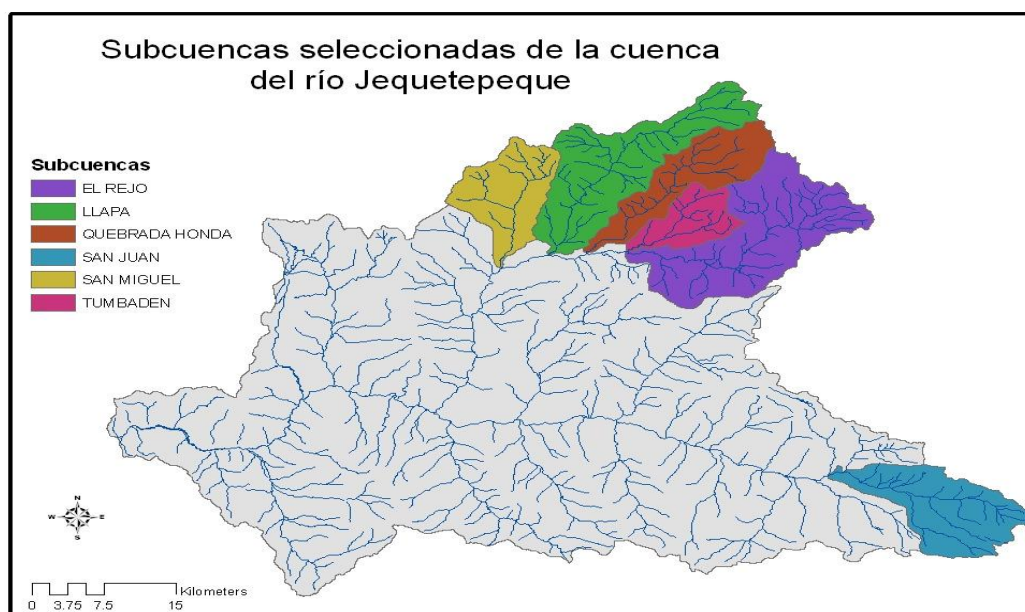
indicadores de calidad de ecológica busca una opción barata para mantener un control de la calidad de las aguas de los ríos como alternativa a los costosos análisis de aguas y sedimentos. (Bonet M. 2010)

#### 4.2.5. Índice ABI

Los datos Andean Biotic Index (ABI) es una adaptación del índice BMWP para los Andes realizada por ACOSTA; 2009. Se parte de una lista de taxa que tienen la distribución por encima de los 2500 m.s.n.m. y después de una exhaustiva revisión de los valores de tolerancia/intolerancia para cada familia. (Bonet M. 2010).

De los resultados del índice CERA, que determinaron la calidad ecológica de 22 estaciones de monitoreo de las cuales 18 son definidas como estaciones de referencia. 18 estaciones de referencia y 4 estaciones de control, se han determinado a partir de estos resultados una selección de 8 estaciones que coincidan con los mismos puntos de sedimentos y agua.

En el anexo 3 indicamos el monitoreo de Índice CERA Bonet M .que se empleo en el análisis.



**Figura 5.** Mapa de las subcuencas monitoreadas Jequetepeque

. Fuente: GRUFIDES

Para la subcuenca del Llapa el uso es pecuario (pastos perennes y cultivados), agrícola (cultivos en zonas frías), forestal y explotación minera aurífera de cielo abierto actualmente en cese de actividad.

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

En la subcuenca del Rejo el uso del suelo es agrícola (cultivos en zonas frías y templadas), pecuario (pastos cultivados y perennes), forestal (bosques en reforestación) y explotación minera aurífera de cielo abierto actualmente en proceso de extracción.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Metodología para el tratamiento de datos

#### 5.1.1. Recolección de Datos:

Se conto con 3 bases de datos correspondiente a los resultados obtenidos de Calidad de Sedimento, agua y el Índice CERA ubicadas en la zona del Lago Titicaca y Jequetepeque, mediante la Tabla 5 podemos indicar las variables que fueron analizados y datos que fueron empleados.

**Tabla 5. Datos de monitoreo empleados para el análisis**

Zona	Resultados Datos	Variables a analizar	Fecha muestreo	Nº Puntos analizados	Punto s en común
<b>Titicaca</b>	Análisis de agua	32: Al, As, Ba, Bo, Cd, Ca, Cu, Cr, St, Sn, P, Fe, Li, Mg, Mn, Hg, Pb, K, Se, Si, Na, Titania, Vanadio, Zinc...	Noviembre 2011	12	7
	Análisis de Sedimento	12: Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn, Hg, Cd	Noviembre 2011	9	7
	Análisis CERA	4H: IF, QBR, ABI, IC	Noviembre 2011	9	7
<b>Jequetepeque</b>	Análisis de agua	21: pH, EC, TSS, TDS, Cloruro, CN WAD y Total, Nitrato-Nitrito, NH <sub>4</sub> , Sulfato, Al, As, Cd, Ca, Cu, Cr, Fe, Mg, Pb, Ni y Zn.	2010	Seco y Lluvioso	8
	Análisis de Sedimento	11: Al, As, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn, Hg, Cd	2010	Seco y Lluvioso	8
	Análisis CERA	4: IHF, QBR, ABI, IC	2011	Lluvioso	8

*Fuente: Propia*

#### 5.1.2. Características de la base de datos:

- Las estaciones de monitoreo de los 3 grupos de datos pertenecen a los mismos puntos, es decir que los puntos de Sedimento y CERA pertenecen a la misma estación de muestreo, para Titicaca tenemos 7 y para Jequetepeque tenemos 8 estaciones que coinciden con las mismas estacione tanto en agua, sedimento e índice CERA.
- En algunos parámetros registran valores menores al límite de detección del equipo, cuyos valores podrían confirmar que su concentración sea menor o

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

no podrían existir. En este caso hay dos grupos en los datos de agua y Sedimento de ambas zonas.

- a) Se registran algunos metales por debajo de su límite de detección en todos los puntos muestreados, en este caso no se ha considerado dichos metales.
  - b) En el caso que se encuentren algunos metales y en algunos puntos valores por debajo de su límite de detección se divide por la mitad. (I.M. Farnham 2002).
- Para el caso específico de la zona del Jequetepeque se muestran registros en análisis de agua y sedimento con datos realizados en dos periodos: seco y lluvioso a su vez con 2 campañas en cada una de ellos contando con 4 registros de cada punto de monitoreo.
  - En los monitoreos del Titicaca solo se tiene registros de un solo monitoreo.
  - La Nomenclatura de los puntos analizados considera las iniciales del nombre del río para todos los grupos.

**5.1.3. Tratamiento de la data:**

- Para los datos del Jequetepeque se emplearon la media de los 4 resultados de cada punto debido a su poca varianza significativa de cada uno. En el caso del Titicaca no fue necesario solo se contaba con datos únicos de una temporada.
- Se transforman todos los valores a su logaritmo decimal para las variables que entre los datos de todos los puntos varíe un orden de magnitud o más de la data que mejore su tratamiento e interpretación.
- A pesar de las observaciones de la data, aún puede haber muestras sin registrar todos los valores, debido a errores producidos en la toma de muestras o en los análisis al laboratorio. Para minimizar este error y conseguir un grupo de datos más representativo, se decide eliminar aquellos puntos o variables que tengan menos información.
- Esta reducción de muestras también se produce para adaptar los datos al programa estadístico que se usará. El programa empleará la hoja de cálculo Excel con la condición de no tener celdas vacías o sin información.

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

- Los grupos fueron tratados en una primera etapa por separado, es decir primero de todo hemos diferenciado entre Agua, Sedimento y Índice Cera (A, S y IC) respectivamente denominados en adelante con la aplicación Análisis de Componentes Principales (PCA) que nos servirá observar lo que está sucediendo, tanto a nivel de localización espacial como a nivel de agrupación de contaminantes (ciertos metales entre ellos o correlaciones). Explicaremos el procedimiento con más detalle en el análisis estadístico.

## **5.2. Procedimiento**

Obtenida la base de datos completa, considerando las características e indicaciones. Se aplicara el programa estadístico SPSS versión nº 19.

Se desea encontrar correlaciones entre los grupos, algunas similitudes o diferencias. Como los datos son diferentes entre sí en cuanto a número de muestras, variables se decidió aplicar la siguiente metodología:

1. Realizar un PCA de Agua (PCA\_A) para minimizar el número de variables. Al hacer los factores se puede disminuir las “N” variables que posteriormente se analizará con el resto de matrices (Sedimento e Índice CERA).
2. De la misma manera hacer un PCA de Sedimento (PCA\_S) que en Agua por las mismas razones disminuiríamos el grado de variables.
3. Para los datos del Índice CERA (IC) en una primera etapa no necesita hacer un PCA ya que solo contiene 4 variables (en ambas zonas). Las 4 variables del IC indican que hay mayor calidad al haber mayor puntaje. Se decide multiplicar por -1 para lograr de esta manera una igualdad de todas las variables: al aumentar la variable aumenta la alteración del medio (Choueria et. al 2009)
4. Se realizan los dos PCA quedando “X” factores mayores a 1 en PCA\_A y “Y” factores mayores a 1 en el PCA\_S. Una vez realizado se escoge de cada factor (1 variable original para cada x factor y 1 variable para cada y factor, es decir “X” variables de Agua (A) y “Y” variables de Sedimento (S).
5. Finalmente se juntan las “X” variables de Agua (A), las “Y” variables de Sedimento (S) y las 4 variables de Índice CERA (IC) multiplicadas por -1, utilizando la misma metodología se emplea el PCA obteniendo los resultados

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

que nos permitirá ver las agrupaciones entre A, S y IC, que es lo que nos interesa y ver la relación entre las 3 matrices cómo están agrupados los puntos en el espacio.

### 5.2.1. Tratamiento estadístico

Criterios a considerar en la aplicación de PCA:

- Valores propios mayores que uno.- El número de factores determinado por el número de valores propios mayores que uno.
- Los factores a determinar se sugiere no superar a 3 aunque cumplan valores mayores que uno.
- Regla del 75% de la varianzas.-El número de factores está determinado por la absorción de inercia. Se tomará tantos valores propios como sean necesarios para conseguir un 75% de inercia absorbida.
- Regla del codo (Cattell 1966) SCREE PLOT.- El procedimiento de scree plot de Catell consiste en representar gráficamente los valores propios más bajos. Se retienen las componentes que se corresponden con los autovalores que quedan por encima de la línea.
- Especificación del Usuario.- Es posible especificar personalmente el numero de factores. Usualmente no será mayor que el número de variables dividido por dos. En el caso en que se sobrestime este valor, el n° será ajustado por el ordenador.

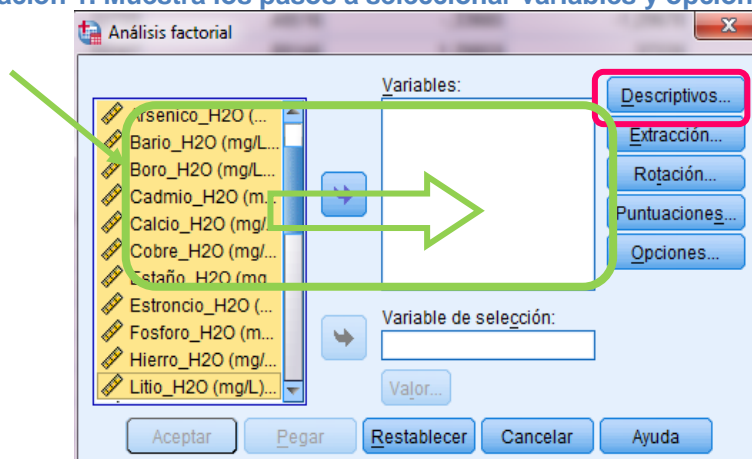
### 5.3. Procedimientos para aplicar Análisis de componentes principales PCA

**Paso 1.** Se introduce la tabla de datos de la hoja de cálculo Excel al programa estadístico SPSS versión 19.

**Paso 2.** Ir al menú, hacer clic en **Analizar > Reducción de dimensiones >Factor**

- Seleccionar las variables y trasladarlas a la lista **Variables** que intervendrán en el análisis. (Ver la Ilustración 1).

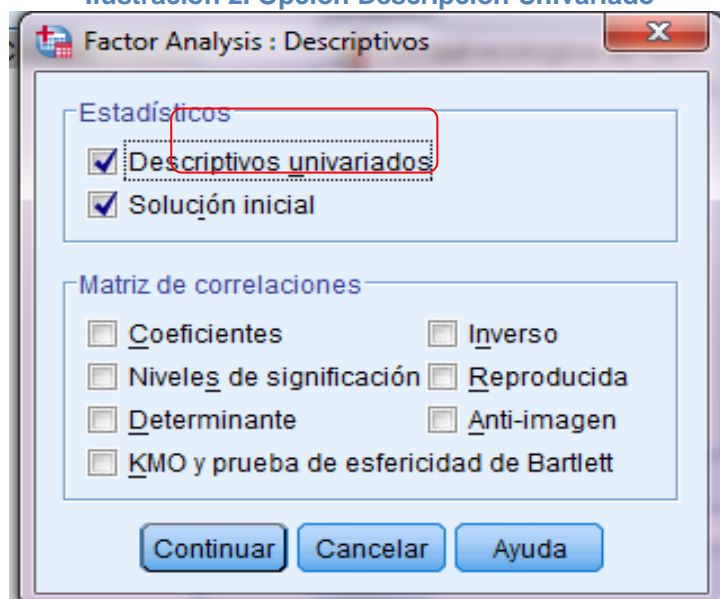
**Ilustración 1. Muestra los pasos a seleccionar variables y opciones del PCA**



Se realiza un análisis de componente principal sobre todas las variables de agua.

- La opción Descriptivos univariados (Ilustración 2) muestra cómo obtener estadísticos descriptivos adicionales a la solución por defecto mostrando para cada variable el número de casos válidos, la media y la desviación típica, un ejemplo de cómo se obtiene los resultados lo muestra la tabla 6.

**Ilustración 2. Opción Descripción Univariado**





**Tabla 6. Modelo de los resultados de opción “Descripción univariado”**

	Media	Desviación típica	Nº de Puntos analizados
Aluminio_H2O (mg/L)	,80608	1,426424	12
Arsenico_H2O (mg/L)	,02958	,022909	12
Bario_H2O (mg/L)	,10867	,102628	12
Boro_H2O (mg/L)	,0163625	,01447897	12
Cadmio_H2O (mg/L)	,002000	,0012277	12
Calcio_H2O (mg/L)	133,0775	3,68590	12
Cobre_H2O (mg/L)	,016632	,0200221	12
Estaño_H2O (mg/L)	,05806833	,071043592	12
Hierro_H2O (mg/L)	,46233	,606740	12

**Paso 3.** Al elegir en la opción **Solución inicial**, según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** permite obtener las comunalidades iniciales, estas comunalidades son las asignadas inicialmente a las variables (*inicial*) y las comunalidades reproducidas por la solución factorial (*extracción*).

### **Comunalidades:**

La comunalidad de una variable es la proporción de su varianza que puede ser explicada por el modelo factorial que se obtiene del paso 3.

**Tabla 7. Modelo de resultados "Comunalidades".**

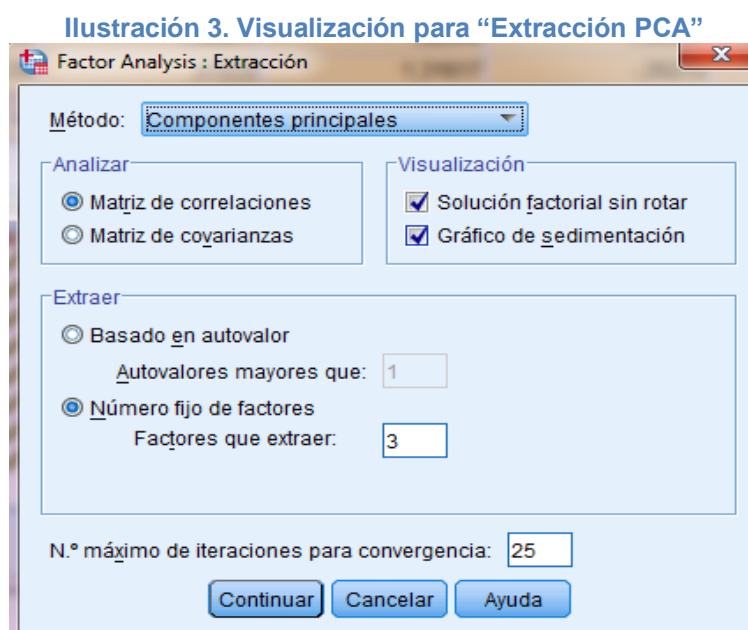
	Inicial	Extracción
Aluminio_H2O (mg/L)	1,000	,978
Arsenico_H2O (mg/L)	1,000	,922
Bario_H2O (mg/L)	1,000	,980
Cadmio_H2O (mg/L)	1,000	,794
Calcio_H2O (mg/L)	1,000	,923
Cobre_H2O (mg/L)	1,000	,921
Hierro_H2O (mg/L)	1,000	,669
Mercurio_H2O (mg/L)	1,000	,944
Plomo_H2O (mg/L)	1,000	,872
Zinc_H2O (mg/L)	1,000	,923

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

En la Tabla 7 observamos como resulta valores cercanos a 1, norma, se puede generalizar que se aceptarán valores cercanos a 1 hasta 0,7, pero deben ser estudiadas todos los casos. En el supuesto que se tengan valores menores a 0,7 se debe replantear el análisis o modificar los datos iniciales (descartando aquellos que no superen dicho valor).

**Paso 4:** Seleccionar “Extracción” (Ilustración 3) que servirá para llegar a esta solución factorial y se ha seleccionado el método de extracción denominado *Componentes principales*. Dicho método es el que actúa por defecto, asume que es posible explicar el 100% de la varianza observada. Estas acciones permiten decidir e imponer el número de factores resultantes deseado o decidir a partir de qué valor se decide cortar y aceptar factores.

A partir del paso 4 y de obtener los resultados de Tabla 7 podemos empezar a plantearnos si el número de factores obtenidos es suficiente para explicar todas y cada una de las variables incluidas en el análisis. También podemos empezar a plantearnos en este momento si dando por bueno el número de factores extraídos, alguna de las variables incluidas podría quedar fuera del análisis.



### **Varianza total**

Con los pasos indicados el programa nos brinda otro resultados denominado “Varianza Total Explicada” (Tabla 8) donde expresa el porcentaje del resultado representado por cada factor resultante u obtenido. Según la Tabla 8 se observan 6 factores o componentes, es decir, el programa ha identificado 6 tendencias o comportamientos diferentes expresados por las distintas variables estudiadas. De estos 6 componentes, el primero es el mayoritario, es la

tendencia que más se da, y el sexto es el minoritario. Se puede comprobar esta afirmación observando la columna del porcentaje acumulado, que expresa dicha representatividad. En este caso, pues, el programa descarta los factores del 3 al 6 por ser los minoritarios, considera que no son representativos. Se dan por buenos los dos primeros, con un porcentaje acumulado del 72,029 (se descarta o no se utiliza el 27,971 de la información disponible).

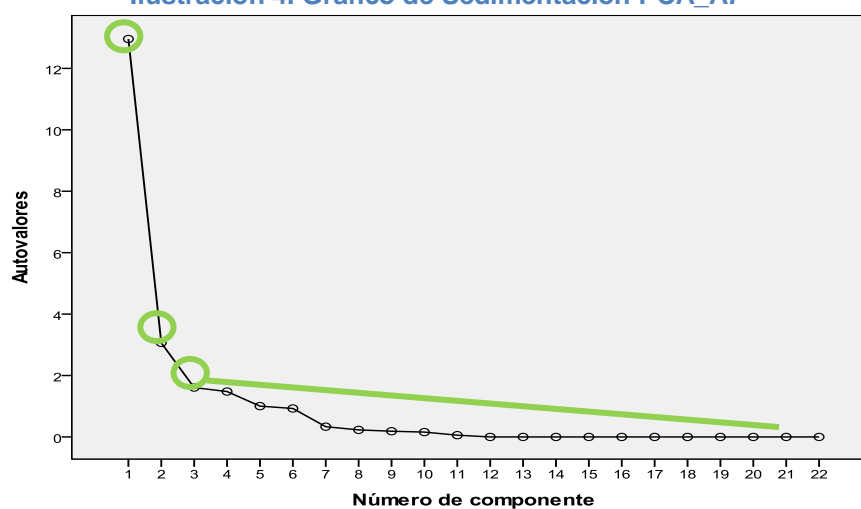
**Tabla 8. Modelo de resultados "Varianza Total Explicada"**

Comp.	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acum.	Total	% de la varianza	% acum.	Total	% de la varianza	% acum.
1	3,318	55,302	55,302	3,318	55,302	55,302	3,308	55,131	55,131
2	1,004	16,728	72,029	1,004	16,728	72,029	1,014	16,898	72,029
3	,659	10,991	83,020						
4	,490	8,170	91,191						
5	,312	5,197	96,388						
6	,217	3,612	100,000						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

## El Grafico de sedimentación de los autovalores (Scree Plot)

**Ilustración 4. Gráfico de Sedimentación PCA\_A.**



La grafica de sedimentación se obtiene seleccionando en la opción de Extracción (del paso 4) en la visualización de grafica (*Ilustración 4. Gráfico de Sedimentación PCA\_A. Ilustración 4*) que permite complementar y evaluar la representación de la varianza asociada a cada factor. Se utiliza para determinar cuántos factores deben retenerse.

Típicamente muestra la clara ruptura entre la pronunciada pendiente de los factores más importantes y el descenso gradual de los restantes, mostrando 3 factores o tendencias. Cuanto mayor sea el valor obtenido, mayor es la semejanza entre el comportamiento de la variable en estudio y el comportamiento del factor (**patrón**).

### **Paso 5:**

Seleccionar la opción “*Rotación*” (*Ilustración 1. Muestra los pasos a seleccionar variables*) nos mostrará la matriz de componentes rotados. En la Tabla 9 se encuentra la *solución factorial* propiamente dicha. Contiene las correlaciones entre las variables originales (o saturaciones) y cada uno de los factores. La matriz de componentes rotados expone las tendencias de cada una de las variables de estudio.

Cuanto mayor sea el valor obtenido, mayor es la semejanza entre el comportamiento de la variable en cuestión y el comportamiento del factor (**patrón**). Así pues, el objetivo es que cada variable se pueda asemejar a uno u otro factor con el fin de asignarle una tendencia.

**Tabla 9. Modelo “Matriz de componentes rotados”**

	Componente		
	1	2	3
Zinc_SED (mg/kg)	,969	-,039	-,003
Plomo_SED (mg/kg)	,964	-,132	-,141
Cobre_SED (mg/kg)	,884	,382	,168
Manganeso_SED (mg/kg)	,823	-,365	,109
Cromo_SED (mg/kg)	,713	,625	-,103
Niquel_SED (mg/kg)	-,162	,898	,231
Aluminio_SED (mg/kg)	-,041	,885	,117
Hierro_SED (mg/kg)	,105	,808	,511
Antimonio_SED (mg/kg)	-,224	,162	,910
Arsénico_SED (mg/kg)	,446	,355	,773

## “Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”

Método de extracción: Análisis de componentes principales.  
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

- El criterio para decidir realizar una acción u otra, o ambas, es en función del caso estudiado. Puede ser que, debido a las comunales, resulte necesario descartar muchas variables, pero entonces se perdería mucha información relevante, de modo que sea preferible aumentar los factores, o no.
- En este trabajo se ha preferido realizar **varias pruebas** considerando aumentar el número de factores y descartando alguna de las variables iniciales, con los resultados que arroja se fue analizando de acuerdo al caso y ser considerado el adecuado con los puntos clave del que se lleva a cabo. (Ver en el Anexo nº 4)

**Paso 6.** Esta opción se encuentra en “Puntuación” ver Ilustración 1, al finalizar se obtiene las puntuaciones de la matriz que son guardados como variables en la data empleada en el programa SPSS V19.

**Tabla 10 Modelo de resultados “Puntuaciones”**

	FAC1	FAC2	FAC3
% varianza	62,9	17	8,6
C1	0,98	-1,33	0,79
C2	-0,96	-0,83	0,27
H1	1,1	1,35	-1,56
A1	1,25	0,62	2,29
A0	0,96	1,35	-0,07
C-D	0,06	-0,83	-0,81
RD	-0,59	0,76	-0,63

Las puntuaciones de la Tabla 10 califican los puntos de acuerdo a las agrupaciones que fueron formados las componentes.

### Pasó 7: Dendrograma

Como parte final del procedimiento el Dendrograma es una forma de representación de los datos y muestra la agrupación de los puntos, según su comportamiento y características, en forma de clústeres.

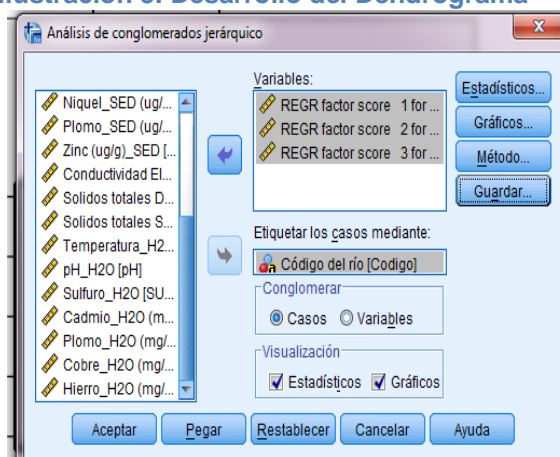
- *Seleccionar en Analizar > Clasificar > Conglomerados jerárquicos*

## “Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”

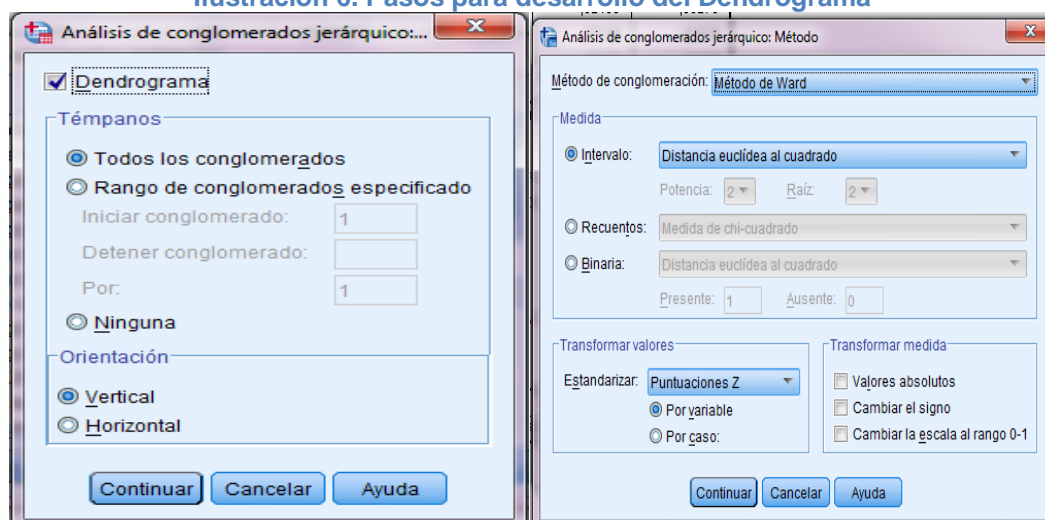
En el cuadro “*Variables*” de la se seleccionan las regresiones resultantes del análisis anterior (*REGR*), y en el cuadro “*Etiquetar los casos mediante*” se selecciona el criterio mediante el cual queremos clasificar los datos (ver Ilustración 5. Desarrollo del Dendrograma. En este proyecto se quieren clasificar según los puntos geográficos muestreados, de modo que se selecciona la columna correspondiente (Puntos).

- Posteriormente se selecciona *Gráficos > Dendrograma, Método > Método de conglomeración > Método de Ward. Aceptar*. Estas indicaciones se puede apreciar en la Ilustración 6 .

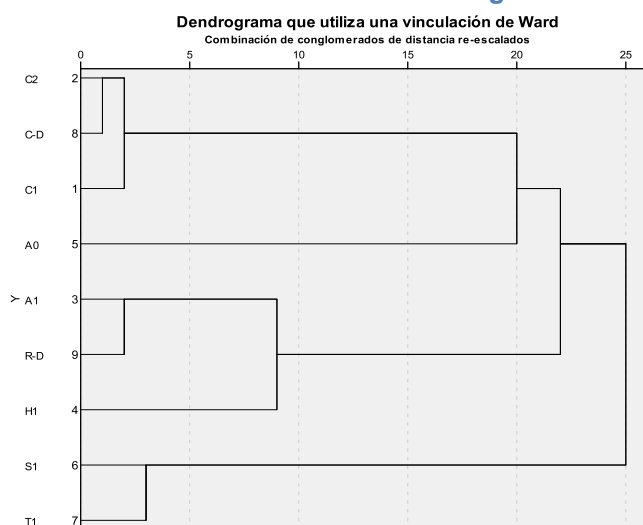
**Ilustración 5. Desarrollo del Dendrograma**



**Ilustración 6. Pasos para desarrollo del Dendrograma**



### Ilustración 7. Modelo de un Dendrograma



Esta representación es útil para visualizar, de forma rápida, cómo se agrupan los puntos estudiados.

En la Ilustración 7 se decide con cuántos clústeres se va a trabajar y representar, por lo tanto, por qué punto se debe cortar (en el ejemplo, observar las líneas verticales discontinuas). El criterio para dicha selección es, generalmente, la agrupación de los puntos. Normalmente se corta por un punto que permita tener más de dos clústeres (habitualmente se trabaja con 5 – 8 clústeres) y que los grupos de puntos resultantes parezcan coherentes, por ejemplo, que sean todos de la misma subcuenca.

#### **Se impone el número de clústeres:**

En el mismo cuadro de diálogo visto anteriormente (*Analizar > Clasificar > Conglomerados jerárquicos > Guardar*) se selecciona “Rango de soluciones” y se impone el número de clústeres deseado (la forma óptima de trabajar es imponer que el mínimo de conglomerados sea 2 e imponer un máximo mayor al ideal, para que el programa disponga de todas las combinaciones y no se tenga que repetir este paso cada vez).



## 6. RESULTADOS

### 6.1. Resultados del análisis PCA de la zona Titicaca

Explicada los procedimientos en la metodología a continuación mostramos los resultados del análisis PCA.

#### 6.1.1. Resultados del análisis PCA\_Agua\_Titicaca Comunalidades y Varianza Total

**Tabla 11 Comunalidad al extraer 3 componentes PCA\_A\_Titicaca**

	Inicial	Extracción(a)	Extracción (b)	Extracción (c)
Calcio_H2O (mg/L)	1,000	,893	,861	,858
Cobre_H2O (mg/L)	1,000	,904	,907	,902
Estaño_H2O (mg/L)	1,000	,795	,848	,847
Estroncio_H2O (mg/L)	1,000	,869	,906	,903
Fosforo_H2O (mg/L)	1,000	,912	,931	,941
Aluminio_H2O	1,000	,916	,940	,951
Arsenico_H2O	1,000	,914	,907	,908
Bario_H2O	1,000	,939	,940	,937
Boro_H2O	1,000	,687		
Cadmio_H2O	1,000	,700	,652	
Hierro_H2O (mg/L)	1,000	,957	,923	,906
Litio_H2O (mg/L)	1,000	,408		
Magnesio_H2O (mg/L)	1,000	,782	,891	,886
Manganeso_H2O (mg/L)	1,000	,782	,891	,886
Mercurio_H2O (mg/L)	1,000	,921	,939	,947
Plomo_H2O (mg/L)	1,000	,817	,838	,836
Potasio_H2O (mg/L)	1,000	,714	,725	,745
Silicio_H2O (mg/L)	1,000	,659		
Sodio_H2O (mg/L)	1,000	,720	,732	,760
Titanio_H2O (mg/L)	1,000	,550		
Vanadio_H2O (mg/L)	1,000	,932	,965	,966
Zinc_H2O (mg/L)	1,000	,857	,899	,892

#### Interpretación

Observamos de la Tabla 11 al extraer a 3 factores considerando todos los metales “Extracción (a)” se obtienen 4 metales con valores menores a 0,7 que son Boro, Silicio, Titanio y Litio, sobre todo estos dos últimos con muy pequeña extracción esto podría señalar que se estaría perdiendo información por ello descartamos los 4 metales y repetimos el análisis de PCA\_A.

Al realizar la extracción no considerando los 4 metales nos muestra según en la “Extracción (b)” comunalidades superiores a 0,7, salvo el metal Cadmio con 0,652, observando los registros de cadmio se considera descartar por sus registros de concentración menores y algunos por debajo de su límite de

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

detección que al descartar no se estaría perdiendo información, al repetir el análisis arroja una data representativa en la “Extracción C”. Con esta tercera extracción nos registra una varianza de 88,65% de porcentaje acumulado (Tabla 12) indicándonos continuar con el análisis.

**Tabla 12 Varianza Total explicada elegida PCA\_Agua\_Titicaca**

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	10,699	62,933	62,933	10,699	62,933	62,933	9,008	52,989	52,989
2	2,894	17,023	79,957	2,894	17,023	79,957	3,586	21,094	74,083
3	1,478	8,693	88,650	1,478	8,693	88,650	2,476	14,567	88,650
4	,678	3,986	92,636						
5	,406	2,390	95,026						
6	,353	2,076	97,102						
7	,193	1,136	98,238						
8	,160	,941	99,179						
9	,056	,328	99,507						
10	,051	,298	99,805						
17	,000	,000	100,000						

**Matriz resultante**

**Tabla 13 Matriz de componentes rotados elegida PCA\_Agua\_Titicaca**

	Componente		
	1	2	3
Arsenico_H2O	,948	,080	,047
Estroncio_H2O (mg/L)	,945	-,094	,031
Mercurio_H2O (mg/L)	,935	,195	,186
Cobre_H2O (mg/L)	,935	-,140	,095
Hierro_H2O (mg/L)	,896	,181	,266
Estaño_H2O (mg/L)	,870	,296	-,041
Plomo_H2O (mg/L)	,840	,169	,319
Potasio_H2O (mg/L)	,801	,181	,267
Sodio_H2O (mg/L)	,731	,315	,356
Vanadio_H2O (mg/L)	,129	,958	,178
Bario_H2O	,345	-,905	,015
Aluminio_H2O	,538	,744	,330
Zinc_H2O (mg/L)	,660	,673	,055
Fosforo_H2O (mg/L)	,642	,658	,309
Calcio_H2O (mg/L)	-,117	,163	,904
Magnesio_H2O (mg/L)	,609	,124	,707
Manganeso_H2O ( mg/L)	,609	,124	,707

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

- En la matriz según la Tabla 13 muestra cómo se van dando las agrupaciones: para el factor nº 1 existe una semejanza con 9 metales: Arsénico, Estroncio, Mercurio, Cobre, Hierro, Estaño, Plomo, Potasio y Sodio.
- Existe una segunda agrupación entre 5 metales con un mismo comportamiento: Vanadio, Aluminio, Zinc, Fosforo y Bario (Bario muestra una semejanza pero inversa) dentro de ellos Aluminio, Zinc y Fosforo comparten similitudes entre factor 1 y 2 con valores muy cercanos entre ellos.
- En la componente 3 reúne a otros 3 metales: Magnesio, Manganeso, y Calcio con valores muy altos, a su vez observamos que hay una tendencia compartida del Magnesio y Manganeso con el factor 1 y 3.

*Puntuación del resultado*

Son las puntuaciones obtenidas para seguir con el procedimiento, se obtiene luego de finalizar la matriz rotada que son guardados como variables en data empleada en el programa SPSS V19.

**Tabla 14 Puntuación modificada de PCA\_Agua\_Titicaca**

	FAC1	FAC2	FAC3
% varianza	62,9	17	8,6
C1	0,98	-1,33	0,79
C2	-0,96	-0,83	0,27
H1	1,1	1,35	-1,56
A1	1,25	0,62	2,29
A0	0,96	1,35	-0,07
C-D	0,06	-0,83	-0,81
RD	-0,59	0,76	-0,63

Los resultados de la Tabla 14 indican que:

- **Para la estación H1** contiene valores muy altos considerables tanto para el factor 1 y 2 con valores positivos y el tercer factor con un valor negativo más alto, indicando esto que existe presencia de concentraciones altas de los metales agrupados. Estas concentraciones altas en los factores nos indicarían que probablemente exista contribución artificial de metales

- **La estación A1** cuya zona es en el río Azángaro aguas arriba de la ciudad de Azángaro que indica una mayor fuerza en la componente 1 y 3 con el valor más alto del factor 3 ( $=2,29$ ), en este grupo se encuentran los metales (Calcio, Magnesio, Manganeso) esta concentración en dicha estación de Ananea se podría señalar que es normal que vayan juntas estas agrupaciones y mencionar que existe una importante fuerza al factor 1 que indicaría concentraciones a vigilar de Arsénico, Cobre, Mercurio, Hierro , Plomo, Cadmio entre otros más.
- **En la estación A0** nos indica que existe una mayor fuerza en el factor 2, en este grupo se encuentran 8 metales (Vanadio Zinc, Boro, Fosforo, Aluminio, Cadmio y Bario con una semejanza pero inversa) este grupo registrado es muy significativo indicando la presencia de estos metales, a su vez registra para el factor 1 un valor regular que también sería necesario su atención por contener metales Arsénico, Cobre, Mercurio, Hierro , Plomo, Cadmio, y con menor fuerza en el factor 3 cuyos metales es normal que se encuentren juntos (Calcio, Magnesio)
- **Otros Puntos como C1 y C2** existe cierta similitud en sus puntuaciones de factor 1 y 3, indicando presencia considerable de metales, sin embargo en su segundo factor ambos puntos poseen valores inversos (vanadio, aluminio, Zinc y Fosforo).
- El punto RD y CD son desembocadura del río Ramis y Coata que nos arroja valores menores en casi todos sus componentes esto indicaría menor contribución de metales, a excepción del mismo RD en el componente 1 que muestra un valor significativo (presencia de metales Vanadio, Bario, Aluminio, Zinc y Fosforo).

#### **6.1.2.Resultados del análisis PCA\_Sedimento\_Titicaca**

Se introduce la tabla de datos de sedimento de la hoja de cálculo Excel al programa estadístico SPSS versión 19. Se realiza el mismo procedimiento a la data explicado en el PCA de agua (paso 2, 3, 4 y 5). Los resultados obtenidos mostramos a continuación y su interpretación.

*Comunalidades y Varianza total*

**Tabla 15. Comunalidade PCA\_Sedimento Titicaca**

	Inicial	Comunalidades
Aluminio_SED (mg/kg)	1,000	,798
Arsenico_SED (mg/kg)	1,000	,922
Cromo_SED (mg/kg)	1,000	,909
Cobre_SED (mg/kg)	1,000	,956
Hierro_SED (mg/kg)	1,000	,925
Manganeso_SED (mg/kg)	1,000	,823
Niquel_SED (mg/kg)	1,000	,886
Plomo_SED (mg/kg)	1,000	,967
Antimonio_SED (mg/kg)	1,000	,905
Zinc_SED (mg/kg)	1,000	,940

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

Los resultados de comunalidades obtenidos de la Tabla 15 indican que todas sus variables superan según la norma a la condición de 0,7 alcanzando el valor máximo de 9,56 asegurando una buena representatividad y continuar con el procedimiento de análisis. En este caso no requiere realizar otra extracción pro cumplir las condiciones mencionadas.

**Tabla 16 Varianza total explicada PCA\_Sedimento\_Titicaca**

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4,364	43,644	43,64	4,364	43,644	43,644	4,124	41,24	41,24
2	3,502	35,018	78,66	3,502	35,018	78,662	3,083	30,829	72,069
3	1,164	11,644	90,31	1,164	11,644	90,306	1,824	18,237	90,306
4	0,566	5,664	95,97						
5	0,225	2,248	98,22						
9	4,34E-16	4,34E-15	100						
10	2,40E-17	2,40E-16	100						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

En la Tabla 16 de las varianzas totales, se observan 10 factores identificando comportamientos diferentes, de estos 10 componentes se tiene 3 factores mayores que 1 mostrando una tendencia que más se da, dando por buenos componentes los 3 primeros factores con un 90,3% de porcentaje acumulado

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

descartando del 4º al 10º por ser los minoritarios descartando un 9,7% de la información disponible.

*Matriz rotada*

**Tabla 17 Matriz de componentes rotados<sup>a</sup> PCA\_Sedimento\_Titicaca**

	Componente		
	1	2	3
Zinc_SED (mg/kg)	,969	-,039	-,003
Plomo_SED (mg/kg)	,964	-,132	-,141
Cobre_SED (mg/kg)	,884	,382	,168
Manganeso_SED (mg/kg)	,823	-,365	,109
Cromo_SED (mg/kg)	,713	,625	-,103
Níquel_SED (mg/kg)	-,162	,898	,231
Aluminio_SED (mg/kg)	-,041	,885	,117
Hierro_SED (mg/kg)	,105	,808	,511
Antimonio_SED (mg/kg)	-,224	,162	,910
Arsénico_SED (mg/kg)	,446	,355	,773

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 5 iteraciones.

Observando la Tabla 17 muestra 3 factores: para el factor nº 1 existe una agrupación de 5 metales: Zinc, Plomo, Cobre, Manganeso y Cromo. Para el segundo factor 3 metales posee un mismo comportamiento: Níquel, Aluminio y Hierro. Otra semejanza es el factor 3 que va por su cuenta con Antimonio y Arsénico.

*Puntuaciones del resultado*

**Tabla 18 Puntuaciones de factores PCA\_Sedimento Titicaca**

Puntos	Fac 1	Fac 2	Fac 3
%	43,64	35,02	11,64
C1	1,38	-1,57	0,23
C2	1,07	1,05	-0,38
C-D	1,13	0,67	-0,55
R-D	-0,29	0,42	-0,41
A1	-0,85	-1,26	-0,30
H1	0,20	-0,65	0,31
A0	-0,60	0,43	2,43
S1	-0,58	1,23	-0,22
T1	-1,45	-0,31	-1,10

De las puntuaciones de la Tabla 18 se puede indicar que:

Para la Subcuenca de Coata: los puntos C1, C2 y C-D hay en común una gran fuerza en el componente 1, indicando esto dominados y que existe mayor presencia en concentración de estos metales (Plomo, Cobre, Manganeseo y Cromo), considerando además una significancia del punto C2 hacia el factor 2 (presencia de metales de similar puntaje al factor 1 indicando la presencia de Niquel Aluminio y Hierro podría ser por erosión, minería).

Para los puntos RD, H1, A1, S1, T1 y A0, arroja valores menores en la componente 1, 2 y 3 indicando que no existe mayor aporte de metales en la mayoría de los factores, a excepción del punto A0 que solo en la componente 3 muestra mucha fuerza que se dispara y es significativamente el valor más alto señalando presencia de concentraciones altas de Arsénico y antimonio.

#### 6.1.3. Análisis de los datos Índice Cera (IC)

De los resultados empleados de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** las variables son 4: el índice CERA, el índice ABI, el índice QBR y el índice IHF. Las cuatro variables del IC, indican que hay mayor calidad al haber mayor puntaje. Por ello, es mejor que se multiplique por -1. De esta manera, se mostraran igual todas las variables: al aumentar la variable aumenta la alteración del medio y transformando las calificaciones de CERA en variable del tipo ordinal (1=pésimo, 2=malo, 3=regular, 4=bueno, 5= muy bueno) cuyos datos acondicionados se muestra en la Tabla 19.

**Tabla 19 Data de los Índices adaptados\_Titicaca**

Puntos	IHF	QBR	ABI	CERA
<b>C-1</b>	-40	-40	-37	-1
<b>C-2</b>	-37	-67	-36	-2
<b>C-D</b>	-51	-67	-23	-1
<b>R-D</b>	-45	-87	-26	-2
<b>A-1</b>	-55	-47	-67	-3
<b>H-1</b>	-45	-87	-30	-3
<b>A-0</b>	-28	-33	-16	-1

#### 6.1.4. Resultados del análisis integrando Agua, Sedimento y el Índice Cera (PCA\_A\_S\_IC)

- En la Tabla 20 muestra la selección de una variable de cada factor (1 variable original para cada X factor y 1 variable para cada Y factor, es decir 3



**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

variables de la data de Agua y 3 variables de Sedimento) está va a ser la que se mezcle con las 4 variables del IC.

**Tabla 20. Elección de 1 variable de cada factor PCA\_A y PCA\_S Titicaca**

Factor	PCA_A	PCA_S
1	Arsénico, Estroncio, Mercurio, Cobre, Hierro, Estaño, Plomo, Potasio y Sodio.	Zinc Plomo Cobre Manganeso Cromo
2	Vanadio, Bario, Aluminio, Zinc y Fosforo	Níquel, Aluminio Hierro
3	Calcio, Magnesio, Manganeso	Antimonio Arsénico

Fuente: Propia

Luego de la selección únicamente se juntan las 3 variables de Agua, 3 variables de Sedimento y las 4 variables de IC multiplicadas por-1 como se aprecia en la Tabla 19, empleamos la misma metodología de análisis de componente principal (PCA\_A\_S\_IC).

- Para presentar los resultados del análisis unido PCA adecuado (A, S, IC) se han realizado varias pruebas con el mismo procedimiento: seleccionando y cambiando un elemento u otro tanto en agua y Sedimento de la Tabla 20 cuyas pruebas han mostrado y representado similitudes (ver en el anexo), presentamos los resultados en las siguientes tablas:

**Tabla 21 Resultados del PCA\_S\_IC-Titicaca**

	Componente				Comunalidades
	1	2	3	4	
<b>% Varianza</b>	<b>42,5</b>	<b>26,7</b>	<b>14,2</b>	<b>10,9</b>	<b>94,5% acumulado</b>
F2_Ca_H2O (mg/L)	0,947	0,196	0,042	0,171	,966
Andean Biotic Index	-0,947	0,056	-0,132	0,28	,995
F3_Sb_SED (mg/kg)	0,824	0,148	0,354	-0,337	,939
F1_Zn_SED (mg/kg)	-0,089	-0,936	-0,204	0,086	,933
Bosque de Ribera	0,385	0,747	0,062	0,525	,986
CERA	-0,434	0,643	-0,524	0,345	,996
F3_Va_H2O (mg/L)	0,098	-0,011	0,991	0,086	,998
F1_As_H2O (mg/L)	0,16	0,52	0,702	-0,148	,811
F2_Ni_SED (mg/kg)	0,422	0,36	0,527	0,518	,853
Habitat Fluvial	-0,35	-0,001	-0,026	0,922	,973

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 8 iteraciones.

**Tabla 22. Puntuación del PCA\_A\_S\_IC\_Titicaca**

	<b>FAC 1</b>	<b>FAC 2</b>	<b>FAC 3</b>	<b>FAC 4</b>
% Varianza	42,526	26,724	14,271	10,978
C-1	0,41	0,79	-0,81	0,49
C-2	0,55	-1,15	-1,00	1,06
C-D	-0,86	1,10	-0,64	-1,13
R-D	-0,60	-0,94	-0,67	-0,79
A-1	1,87	0,34	0,80	-0,76
H-1	-0,67	-1,02	1,45	-0,30
A-0	-0,70	0,89	0,87	1,44

### *Interpretación*

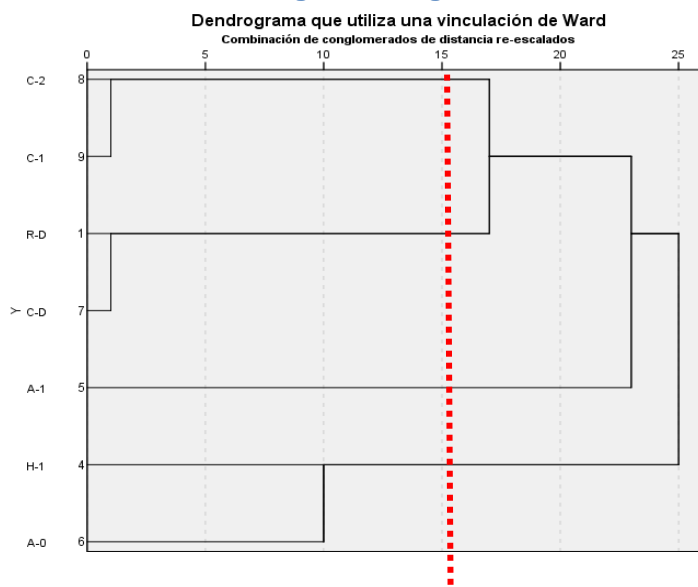
Luego de explicar paso a paso la metodología, se puede lograr resumir en una sola tabla los resultados obtenido, que sea más sencilla para su interpretación. Según la Tabla 21 las agrupaciones con un 94,5 % de porcentaje acumulado fueron seleccionadas en agrupaciones de 4 factores para el PCA\_A\_S\_IC, así como en la matriz de componentes rotados que presentan las tendencias de cada una de las variables en estudio. Los valores registrados indican que las especies ABI, IHF, CERA se asemejan al factor 1 conjuntamente con Calcio de agua y Antimonio de sedimento pero de manera inversa, queriendo indicar que las primeras siguen un comportamiento similar ya sea en presencia geográfica, máximos de concentración y/o mínimos).

En el segundo factor muestra su similitud las especies QBR, Niquel en Sedimento y Arsénico en agua. Y muy diferente en el 3 factor con Vanadio y arsénico ambas de agua.

### *Dendrograma*

Una vez obtenido las componentes y/ factores reducidos emplearemos el uso del dendrograma, una representación gráfica en forma de árbol que resume el proceso de agrupación en un análisis de Clusters de los resultados integrados.

### Ilustración 7. Dendrograma integral zona Titicaca



### Interpretación de la Gráfica

Según la Ilustración 1 nos muestra cómo se agrupa los puntos de acuerdo a su comportamiento y características, en forma de clústeres.

Si se corta verticalmente el diagrama en la distancia 15, el grupo 1 (puntos C2-C1) coinciden en un mismo tipo de contaminante, en el grupo 2 (RD-CD) son las desembocaduras de los ríos Ramis y Coata que indicarían las mismas características es decir aquellos puntos que se parecen entre sí, otro sub grupo lo presenta H1 y A0 cuyas estaciones contienen el mismo tipo de contaminantes fuerte.

## 6.2. Resultados del análisis PCA de la zona Jequetepeque

### 6.2.1. Resultados del análisis PCA\_Agua

Comunalidades Tabla 23 Comunalidad PCA\_A\_Jequetepeque muestra buena significancia a excepción de un valor menor a 0,7 cuyo elemento se decide descartar (CN total = 0,48) y repetir el análisis para obtener nuevas comunalidades, cuyo resultado muestra una buena representatividad (valores muy cercanos a 1) que indica continuar y obtener los siguientes resultados.

**Tabla 23 Comunalidad PCA\_A\_Jequetepeque**

	Inicial	Extracción (a)	Extracción (b)
pH_H2O_Jeq	1,000	,908	,908
EC_H2O_Jeq	1,000	,986	,993
TSS_H2O_Jeq	1,000	,919	,933
TDS_H2O_Jeq	1,000	,980	,972
Clori_H2O_Jeq	1,000	,966	,939
WAD_H2O_Jeq	1,000	,933	,977
CN_H2O_Jeq	1,000	,485	
Nitrato_Nitrito_H2O_Jeq	1,000	,962	,983
NH4_H2O_Jeq	1,000	,978	,961
Sulfato_H2O_Jeq	1,000	,994	,957
Al_H2O_Jeq	1,000	,955	,933
As_H2O_Jeq	1,000	,899	,968
Ca_H2O_Jeq	1,000	,959	,984
Cd_H2O_Jeq	1,000	,972	,973
Cr_H2O_Jeq	1,000	,927	,999
Cu_H2O_Jeq	1,000	,992	,918
Fe_H2O_Jeq	1,000	,921	,913
Mg_H2O_Jeq	1,000	,867	,909
Ni_H2O_Jeq	1,000	,917	,813
Pb_H2O_Jeq	1,000	,782	,961
Zn_H2O_Jeq	1,000	,968	,920

(a) Primera extracción considerando todas las variables

(b) Segunda extracción descartando el elemento < 0,7

### Matriz rotada

**Tabla 24 Matriz de componentes rotados PCA\_Agua\_Jequetepeque**

	Componente		
	1	2	3
Cd_H2O_Jeq	0,982	-0,136	-0,038
Al_H2O_Jeq	0,949	0,238	-0,008
Ni_H2O_Jeq	0,948	0,106	-0,003
pH_H2O_Jeq	-0,938	-0,169	-0,004
Fe_H2O_Jeq	0,918	0,241	0,129
Cr_H2O_Jeq	0,914	-0,336	0,158
Cu_H2O_Jeq	0,892	0,446	-0,07
Zn_H2O_Jeq	0,844	0,498	-0,001
Ca_H2O_Jeq	0,838	0,494	0,147
Mg_H2O_Jeq	0,791	0,49	-0,218
EC_H2O_Jeq	0,78	0,598	0,166
TSS_H2O_Jeq	0,76	0,318	0,504
As_H2O_Jeq	0,76	0,158	0,575
Nitrato-Nitrito_H2O_Jeq	-0,071	0,904	0,394
Sulfato_H2O_Jeq	0,362	0,878	0,243
TDS_H2O_Jeq	0,571	0,762	0,257
Cloruro_H2O_Jeq	-0,075	0,164	0,952
Pb_H2O_Jeq	0,047	-0,104	0,894
WAD_H2O_Jeq	-0,117	0,418	0,855
NH4_H2O_Jeq	0,265	0,428	0,854

Método de extracción: Análisis de componentes principales.  
Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.  
a. La rotación ha convergido en 7 iteraciones.

### *Interpretación*

Una vez seleccionado el número adecuado de variables a analizar se desarrolla la matriz de componentes rotado, según la Tabla 24 si el objetivo es que cada variable se pueda asemejar a uno u otro factor con el fin de asignarle una tendencia.

Si observamos de manera horizontal los resultados que de la Tabla 24 se agrupan en 3 componentes, en el factor nº 1 existe una semejanza con 13 variables entre los metales (Cd, Al, Ni, Fe, Cr, Cu, Zn, Ca, Mg, As) y dos parámetros fisicoquímicos pH y TSS. Sin embargo el mismo Metal Arsénico con TSS comparte su dominio entre la componente 1 y 3 presentando una mayor fuerza hacia el primer factor.

Existe una tendencia hacia el segundo componente dos variables (Nitrato-Nitrito sulfato y TSS) a su vez TSS mostrando tendencia de menor dominio en la componente 1.

Otra semejanza agrupa otras 4 especies: Pb, NH<sub>4</sub>, CN-WAD y Cloruro de con un dominio alto y un mismo comportamiento hacia la componente 3.

### *Puntuaciones de la matriz*

**Tabla 25 Puntuación de la Matriz PCA\_Agua\_Jequetepeque**

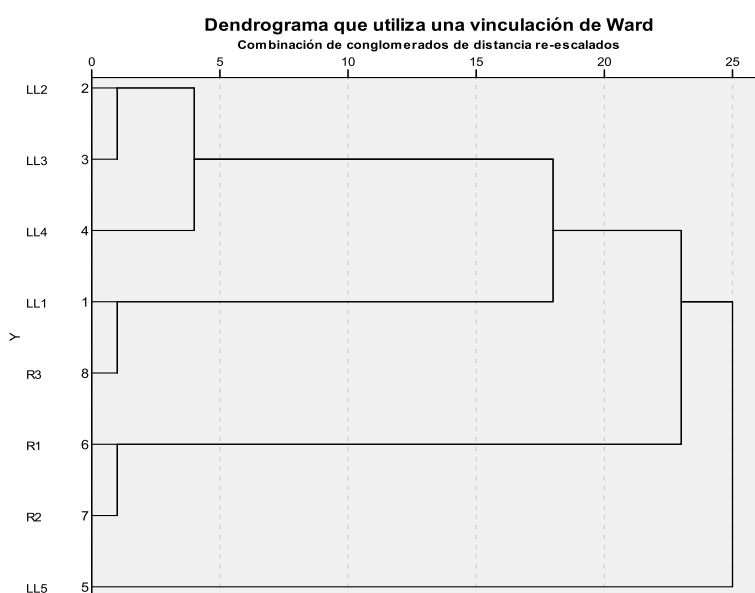
	<b>FAC 1</b>	<b>FAC 2</b>	<b>FAC 3</b>
% Varianza	62,43	21,980	10,150
LL1	-0,39	-1,41	-0,29
LL2	-0,42	-0,61	-0,50
LL3	-0,22	-0,01	-0,21
LL4	-0,35	1,73	-1,53
LL5	2,44	-0,21	-0,21
R1	-0,05	0,66	1,83
R2	-0,33	0,69	0,95
R3	-0,68	-0,84	-0,03

Los resultados de la Tabla 25Tabla 10 muestran que:

- **Para la Zona de Rejo** cuya zona indica una mayor fuerza en el punto R1 y R2 sobre todo para la componente 3 encontrándose los metales (Pb, CN, NH<sub>4</sub>, y Cloruro, este valor nos indica dominio en estos metales con una mayor fuerza.

- Para la zona de Llapa en los puntos LL1, LL2, LL3 Y LL4 contiene valores menores considerables en todos sus factores solo a excepción del punto LL4 y LL1 cuyo valor registra uno de los más altos en el factor 2, indicando presencia de concentraciones altas de Sulfato, Nitrato-Nitrito y TDS.
- Para el punto LL5 presenta el valor más alto (2,44) de las puntuaciones, esto nos indicaría mayor presencia entre los 10 metales y 3 parámetros fisicoquímicos agrupados.

**Ilustración 8 Dendrograma del PCA\_Agua\_Jequetepeque**



### 6.2.2. Resultados del análisis PCA\_Sedimento

#### *Comunalidad y Varianza Total*

**Tabla 26. Comunalidades de PCA\_Sedimento Jequetepeque**

	Inicial	Extracción
Aluminio_SED (mg/kg)	1,000	,798
Arsenico_SED (mg/kg)	1,000	,922
Cromo_SED (mg/kg)	1,000	,909
Cobre_SED (mg/kg)	1,000	,956
Hierro_SED (mg/kg)	1,000	,925
Manganeso_SED (mg/kg)	1,000	,823
Niquel_SED (mg/kg)	1,000	,886
Plomo_SED (mg/kg)	1,000	,967
Antimonio_SED (mg/kg)	1,000	,905
Zinc_SED (mg/kg)	1,000	,940

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

Las comunalesidades de la Tabla 26 nos resulta con una primera extracción una buena representatividad alcanzando hasta un máximo de 0,967 para el Plomo (muy cercano a 1) y un mínimo de 0,798 de Aluminio, asegurando que la información es optima para su análisis.

Al no existir la necesidad de descartar y realizar previas pruebas en la primera extracción obtenemos la Tabla 27 donde nos muestra a 3 componentes con autovalores mayores a 1, con % varianza representando un 43% 35% y 11,6% para el componente 1,2 y 3 respectivamente.

**Tabla 27. Varianza total explicada Sedimento Jequetepeque**

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4,364	43,644	43,64	4,364	43,644	43,644	4,124	41,24	41,24
2	3,502	35,018	78,66	3,502	35,018	78,662	3,083	30,829	72,069
3	1,164	11,644	90,31	1,164	11,644	90,306	1,824	18,237	90,306
4	0,566	5,664	95,97						
5	0,225	2,248	98,22						
9	4,34E-16	4,34E-15	100						
10	2,40E-17	2,40E-16	100						

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

**Matriz Rotada**

**Tabla 28 Matriz Rotada, PCA\_Sedimento\_Jequetepeque**

	Componente		
	1	2	3
Cu_Sed_Jeq	,974	-,059	,181
Ni_Sed_Jeq	,897	,171	,342
Hg_Sed_Jeq	,704	-,493	,352
Fe_Sed_Jeq	,685	-,667	-,232
Cr_Sed_Jeq	-,078	,979	,039
Al_Sed_Jeq	,327	,876	-,282
As_Sed_Jeq	,357	-,707	,548
Pb_Sed_Jeq	,030	-,172	,956
Cd_Sed_Jeq	,331	-,164	,913
Zn_Sed_Jeq	,612	,262	,730



### *Matriz Rotada*

La tabla 28 indica 3 factores con una tendencia que más se da, dando por buenos componentes de acuerdo a sus comunalidades y porcentajes de varianza acumulada (valor muy cercano a 1 y 95% respectivamente), los 3 primeros metales muestran un comportamiento similar al factor 1, observando a Hierro que comparte su tendencia con el factor 1 y a su vez con el 2 pero de manera inversa.

En el caso de Cromo y Aluminio indican una fuerte tendencia por el factor 2, otro metal dominado es el Arsénico hacia el factor 2 y 3. Otra agrupación muestra a Plomo y Cadmio con valores muy altos hacia el factor 3, acompañando a este grupo el Zinc pero compartiendo tendencia hacia el factor 1, estos resultados con un 90,3% de porcentaje acumulado.

### *Puntuaciones*

**Tabla 29 Puntuación Factores PCA Sedimento Jequetepeque**

	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>
<b>% Varianza</b>	<b>51,18</b>	<b>26,50</b>	<b>17,37</b>
<b>LL1</b>	-0,97	0,50	-1,09
<b>LL2</b>	0,18	0,93	-0,71
<b>LL3</b>	0,36	-0,65	-0,28
<b>LL4</b>	1,33	0,96	-0,68
<b>LL5</b>	0,76	-2,04	-0,32
<b>R1</b>	0,69	0,58	1,97
<b>R2</b>	-0,78	-0,06	0,86
<b>R3</b>	-1,57	-0,23	0,24

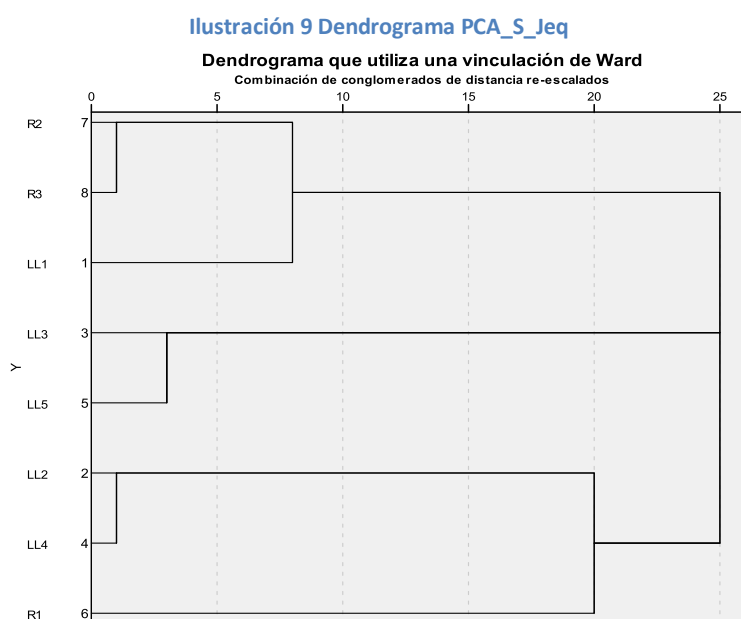
Para la Subcuenca de Llapa las puntuaciones en los puntos LL1, LL2 y LL3 muestran valores menores en su mayoría para las 3 componentes, exceptuando al punto LL2 en el factor 2 con 0,93 que mostraría la presencia de metales de As, Al y Cr, (ver la Tabla 29) esto nos indicaría la poca presencia de metales en las demás agrupaciones y componentes.

Sin embargo hay puntuación (Tabla 29) con altos valores en el punto LL4 cuya dominación se encuentra con mayor significancia en el factor 1 explicando la presencia de metales (Cu, Ni, Hg y Fe), notamos otros altos valores en el punto

LL5 sobre todo en el segundo factor cuya presencia de metales es significativa con Cromo, Aluminio y con Arsénico de manera inversa.

Para la sub cuenca de Rejo la Tabla 29 Puntuación Factores PCA\_Sestá indicando que en los puntos R1 y R2 existe valores altos sobre todo en el punto R1 alcanzando el máximo valor de toda la puntuación en este factor indica la presencia de los metales: Plomo, Cadmio y Zinc considerando muy significativas estos puntos por la presencia de estos metales.

### Endrograma



El Dendrograma en la Ilustración 9 muestra como se agrupan los puntos respecto a las variables analizadas en agua, de manera rápida se agrupa los puntos LL2, LL3 y seguido con el punto LL4 este sub grupo pertenecen a los puntos menos contaminados, otro subgrupo LL3 y LL5 son puntos cercanos a la contaminación minera indicando la misma contaminación, de la misma manera existe puntos que se parecen entre ellos tenemos al subgrupo LL2, LL4 cuyos puntos pertenecen a otro grupo de contaminación y el R1 mantiene un comportamiento con un grupo de contaminación diferente y alto según su componente ( en este caso de Plomo, Cadmio y Zinc en sus Sedimento).

### 6.2.3. Análisis de los datos Índice Cera\_Jequetepeque (IC)

De la misma manera para los resultados del Índice CERA se ha realizado la multiplicación por -1, a continuación los resultados en la Tabla 30.

**Tabla 30. Índice CERA adaptado**

Puntos	IHF	QBR	ABI	CERA
LL - 1	-77	-65	-97	4
LL - 2	-65	-75	-134	4
LL - 3	-66	-100	-100	5
LL - 4	-65	-85	-130	5
LL - 5	-51	-50	-17	1
R - 1	-67	-80	-44	3
R - 2	-68	-85	-63	4
R - 3	-64	-85	-72	4

### 6.2.4. Análisis de componentes principales Agua, Sedimento y el Índice Cera Jequetepeque (PCA\_A\_S\_IC)

- Las agrupaciones obtenidas de los análisis anteriores de agua de sedimento resumimos en la Tabla 31.

**Tabla 31. Variable de cada PCA\_agua y sedimento**

Factor	PCA_A	PCA_S
1	Cd, Al, Ni, Fe, Cr, Cu, Zn, Ca, Mg, As, pH, EC y TSS	Cu, Ni, Hg y Fe
2	Nitrato-Nitrito, Sulfato, TDS	Cromo, Aluminio Arsénico
3	Cloruro, Pb, CN-WAD, NH4	Plomo, Cadmio y Zinc

- Seleccionamos para el análisis en agua: Del primer factor a Cadmio, en el segundo a Nitrato-Nitrito y Cloruro respectivamente; igual para sedimento: Cobre, Cromo y Plomo, estos elementos fueron empleados para el análisis integral con la misma metodología de análisis de componente principal (PCA\_A\_S\_IC).

**Tabla 32 Resultados del PCA\_S\_IC\_Jequetepeque**

Comunalidades			
	Inicial	Extracción (a)	Extracción (b)
IHF	1,000	,867	,842
QBR	1,000	,700	,796
ABI	1,000	,939	,908
CERA	1,000	,948	,984
Cd_H2O	1,000	,986	,965
Nitrato_Nitrito_H2O	1,000	,947	,946
Cloride_H2O	1,000	,952	,940
Cu_Sed	1,000	,859	,888
Cr_Sed	1,000	,663	-----
Pb_Sed	1,000	,945	,945

(a) Primera extracción considerando todas las variables

(b) Segunda extracción descartando Cromo por ser menor a 0,7

Las comunalidades obtenidas indican según la Tabla 21 la buena representatividad luego de realizar la segunda extracción descartando Cr\_Sed. La integración del análisis nos arroja agrupaciones con un 91,27 % (ver en la Tabla 33 el porcentaje acumulado presentando 3 agrupaciones o factores del análisis de PCA\_A\_S\_IC\_Jequetepeque.

**Tabla 33. Varianza Total explicada PCA\_A\_S\_IC\_Jequetepeque**

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4,072	45,242	45,242	4,072	45,242	45,242	3,711	41,228	41,228
2	2,583	28,698	73,940	2,583	28,698	73,940	2,669	29,659	70,887
3	1,560	17,332	91,272	1,560	17,332	91,272	1,835	20,385	91,272
4	,490	5,450	96,721						
5	,155	1,725	98,447						
6	,087	,971	99,418						
7	,052	,582	100,000						
8	,000	,000	100,000						
9	,000	,000	100,000						

*Matriz rotada*

**Tabla 34 Matriz rotada de PCA\_A\_S\_IC\_Jequetepeque**

Variable	Componente		
	1	2	3
Cd_H2O	0,964	-0,039	0,183
CERA	-0,939	-0,317	-0,05
QBR	0,864	-0,059	-0,213
IHF	0,722	-0,082	0,561
ABI	0,675	0,671	0,038
Cloruro_H2O	-0,088	0,963	-0,079
Pb_Sed	0,187	0,928	0,221
Cu_Sed	0,144	0,003	0,931
Nitrato_Nitrito_H2O	-0,336	0,564	0,717

Método de extracción: Análisis de componentes principales.

Método de rotación: Normalización Varimax con Kaiser.

a. La rotación ha convergido en 6 iteraciones.

Los valores registrados de la Tabla 34 indican que las especies Cd\_H2O, CERA, QBR, IHF y ABI, se asemejan fuertemente al factor 1 y a su vez estos dos últimos parámetros IHF comparte tendencia con el factor 3 y 1. Otro grupo es el que forma Cloruro\_H2O y Pb\_sed con un dominio hacia el factor 2 mostrando que las primeras siguen un comportamiento similar ya sea en presencia geográfica, máximos de concentración y/o mínimos). A su vez la especie ABI está dominado por factor 1 y 2 cuyos valores son casi cercanos. Otro grupo diferentes lo forman en el 3 factor con Cu\_sed y Nitrato\_nitrito\_H2O este ultimo comparte similitud con el factor 2 y 3.

**Tabla 35 Puntuaciones de los factores PCA\_A\_S\_IC\_Jequetepeque**

Puntos de muestreo	F1	F2	F3
% Varianza	45,2	28,7	17,3
LL1	-0,04	-0,41	-1,82
LL2	-0,09	-0,91	-0,22
LL3	-0,76	-0,53	0,46
LL4	-0,78	-1,02	1,42
LL5	2,36	-0,17	0,57
R1	-0,19	1,82	0,62
R2	-0,45	1,16	-0,21
R3	-0,06	0,05	-0,81

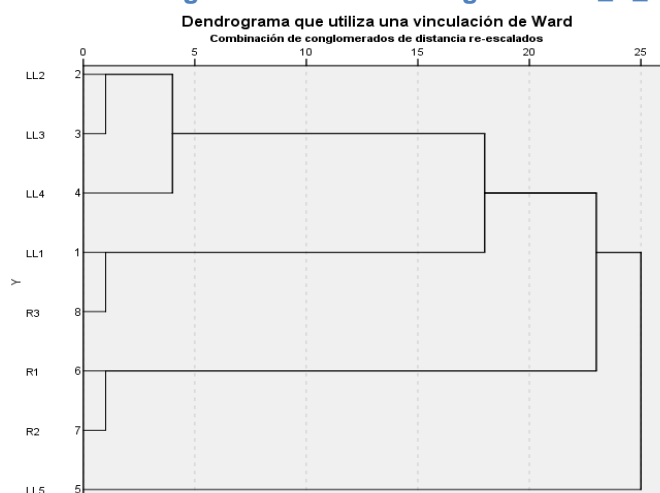
En el análisis integral PCA:

Los valores registrados de la Tabla 34 indican que las especies CD\_H2O, CERA, QBR, IHF Y ABI, se asemejan fuertemente al factor 1 y a su vez estos dos últimos parámetros comparten tendencia IHF con el factor 3 y 1. Otro grupo es el que forma Cloruro\_H2O y Pb\_sed con un dominio hacia el factor 2 mostrando

que las primeras siguen un comportamiento similar ya sea en presencia geográfica, máximos de concentración y/o mínimos. A su vez la especie ABI está dominado por factor 1 y 2 cuyos valores son casi cercanos. Otro grupo diferente lo forma en el 3 factor con CU\_sed y Nitrato\_Nitrito\_H<sub>2</sub>O este último comparte con el factor 2 y 3.

Con ayuda de la **Ilustración 10** Para la zona Llapa los puntos LL1, LL2, LL3 muestran puntuaciones bajas, sobre todo de menor valor registrado a LL1 y LL2. Estos valores podrían señalar la baja presencia de los metales agrupados en todos sus factores. Algo muy diferente podemos mencionar en el punto LL4 (presencia en Cu\_Sed, Nitrato\_nitrito\_H<sub>2</sub>O) y LL5 cuyo valor registrado es el de mayor puntaje (2,36) la información nos señalaría que existe mayor presencia de QBR, IHF, Cd\_H<sub>2</sub>O y ABI con una semejanza inversa al grupo. Otras puntuaciones los reflejan en la zona Rejo especialmente R1 y R2, donde muestra valores altos y significativos (Cloruro\_H<sub>2</sub>O y Pb\_H<sub>2</sub>O).

**Ilustración 10 Dendrograma de análisis integrado PCA\_A\_S\_IC\_Jeq**



Para el punto R3 arroja valores menores y posiblemente menor presencia de contenido variables y/o índices.

Los valores registrados indican que las especies Cd\_H<sub>2</sub>O, CERA, QBR, IHF y ABI, se asemejan fuertemente al factor 1 y a su vez estos dos últimos parámetros IHF comparte tendencia con el factor 3 y 1. Otro grupo es el que forma Cloruro\_H<sub>2</sub>O y Pb\_sed con un dominio hacia el factor 2 mostrando que las primeras siguen un comportamiento similar ya sea en presencia geográfica,

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

máximos de concentración y/o mínimos). A su vez la especie ABI está dominado por factor 1 y 2 cuyos valores son casi cercanos. Otro grupo diferentes lo forman en el 3 factor con Cu\_sed y Nitrato\_nitrito\_H2O este ultimo comparte similitud con el factor 2 y 3.



## **7. CONCLUSIONES**

### **Conclusiones zona Titicaca**

- Los grupos Calcio, magnesio y manganeso del monitoreo de agua tienen un mismo comportamiento con Arsénico y antimonio del monitoreo de sedimento a su vez esta conglomeración es inversamente proporcional con el índice ABI de la zona.

A este conglomerado de mediciones nos indica que en el punto A1 existe una gran fuerza de estos contaminantes alcanzando el máximo valor según la tabla 22, para las demás estaciones no presenta gran fuerza pero mantienen cierta significancia en C1 y C2.

- Con gran fuerza se une QBR (Bosque de Ribera) y el índice CERA este grupo tiene un mismo comportamiento pero inverso con los metales Zinc Plomo, Cobre, Manganeso y Cromo del monitoreo de sedimento. Este grupo de contaminantes relaciona a los puntos C1, C-D y A0, sobre todo para A0 y H1 que son zonas cercanas a actividad minera y que en la estación A1 no muestra gran presencia de este grupo de parámetros.
- Los metales Vanadio, Bario, Aluminio, Zinc, fósforo y Arsénico del 2 factor con Estroncio, Mercurio, Cobre, Hierro, Estaño, Plomo, Potasio y Sodio de agua se agrupa con los metales Níquel, Aluminio y Hierro de Sedimentos. En este grupo casi todos los puntos muestra presencia de estos parámetros sobre todo en el punto H1 con una gran puntuación que indicaría una mayor concentración de estos metales tanto de agua como de sedimentos.
- El índice de hábitat fluvial es independiente de las demás agrupaciones sobre todo mostrando valores altos en los puntos C2 y A0.

### **Conclusiones zona Jequetepeque**

- El grupo de Cd, Al, Ni, Fe, Cr, Cu, Zn, Ca, Mg, EC, TSS, As y pH del agua se agrupa con los 4 índices CERA, ABI; QBR, IHF. De acuerdo a este grupo podemos señalar que casi en todos los puntos muestra poca presencia de este conglomerado, sin embargo en el punto LL5 es donde puntúa con el valor más alto en el análisis indicando la zona más

contaminada. Los demás puntos se encuentran con menor presencia de este tipo de contaminante.

- Otro grupo lo forma Cobre, Niquel, Mercurio y hierro de sedimentos con Nitrato-Nitrito, sulfato y TDS de agua cuyo comportamiento es el mismo entre ellos, para este grupo se ha observado que en el punto LI4 muestra alta presencia de este tipo de contaminante pero para R3 y LI1 indican menor presencia , puntos más limpios.
- Cloruro, CN-WAD, Plomo y amonio en agua se agrupa con Plomo, Cadmio y Zinc de sedimentos. Con este conglomerado podemos señalar que los puntos de la zona de Ramis R1 y R2 presentan valores altos que indicarían presencia de estos contaminantes con gran significancia,. Para LI1, es la de menos presencia seguida de LI2, LI3 y LI4 considerados como puntos intermedios, algo muy diferente en comparación con R3 que presenta puntuación de muy baja presencia en este grupo y demás conglomeraciones.

#### *Comparando las cuencas andinas*

El análisis desarrollado hace indicar que:

En ambas cuencas existe con mayor presencia entre ellos Arsénico y su conglomeración inversa con los índice de calidad ecológica (ABI, IHF , QBR Y CERA), dichos valores son los más altos en especial al punto LL5 de la zona Llapa (Jequetepeque) que alcanza el máximo valor de ambos, este punto se encuentra cercano a actividades mineras y el segundo en puntaje mayor el Rio Azangaro R1 por la ciudad de Azangaro, Por ello existiría una afectación de la vida acuática debido al As probable en todos los puntos de las cuencas. Acompañados con otros metales están asociados a este grupo el Calcio, Magnesio y otros más, cuyas fuentes de contaminación de estos elementos pueden ser debidas a una combinación de erosión natural y a la contaminación antropogénica. Para lograr mayor detalle sería necesario realizar mayores estudios y complementar la información. Los demás puntos se encuentran con menor presencia de este tipo de contaminantes.

***“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”***

Se ha observado zonas con bajas puntuaciones en todos los conglomerados en especial en la cuenca del Jequetepeque : la zona de Llapa(LL1) y Rejo (R3) tomados a inicios de sus recorrido, cuyos valores en casi todas las agrupaciones muestran poca presencia de los contaminantes, considerados posibles puntos limpios. Para la cuenca de Titicaca casi en todos los puntos muestran presencia significativa de algún tipo de contaminante

Dentro de las agrupaciones y otros metales se ha encontrados que existen en ambas cuencas Plomo acompañado de Zinc en agua así como en sedimentos en casi todos los puntos de monitoreo, ya sea de valor mayor y/o menor presencia, en casi todos los puntos. Al encontrar presencia de Pb y Zn indicaría su vigilancia porque dichas concentraciones muestran que significa un riesgo a la vida acuática en todos los puntos.

Esta asociación de podría deber a varios factores de contaminación por humos de combustión debido al tráfico, pinturas, producción, minería y su presencia en casi todos los puntos podría ser a que probablemente tenga fácil movilidad en la zona de estudio.

El resto de metales en ambas cuencas presentan cierto grado de riesgo a la vida acuática, especialmente en la zona Llapa LL5, sub-cuenca del río Coata C1 y del río Ramis R1.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, R.; RÍOS. B; RIERADEVALL, M. Y PRAT, N.; 2009. *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú*
- BONADA, N.; PRAT, N.; RESH, V.H. y STATZNER, B. 2006. *Developments In Aquatic Insect Biomonitoring: A comparative Analysis of Recent Approaches*. Annu. Rev. Entomol. 51: 495-523.
- Bonet, M, (2011 )Propuesta de un protocolo de evaluación de calidad ecológica en la zona minera de la Cuenca del Jequetepeque, Perú. Proyecto Final de Carrera, ETSEIB, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- CHOURE R.B, CESAR A., ABESSA D.M.S. TORRES R.J, MORAIS, 2009 “Development of the site-specific sediment quality guidelines for North and South Atlantic litoral zones: Comparison against national and international sediment quality benchmarks” Faculty of Marine Environmental Sciences, University of Cadiz HABES Gh, Yusuf Nigem 2006 “Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollutions in bottom sediments of wadi Al-Arab Dam, Jordan”
- Desarrollo del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú (2003).
- DOMÍNGUEZ E. y FERNÁNDEZ, H. R. (eds.). 2009. *Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos. Sistemática y biología*. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.
- FIGUEROA, R., ARAYA, E., PARRA, O., VALDOVINOS, C. 1999. *Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua*.
- Garau, M. (2009) *Control de la calidad de aguas y sedimentos para el estudio del impacto por metales en la cuenca con actividad minera del Jequetepeque, Perú*, Proyecto Final de Carrera, ETSEIB, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Rosenberg, D.M. y V.H. Resh (Eds.) 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman and Hall, New York. 488 p.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de
- Miguel Santillana), candidato a doctor en Economía de la Universidad de Manchester,
- Minería informal 2008 Caso Río Ramis Instituto DE Estudios Peruanos
- Municipio Puno 2012). .( Gammons et al., 2003).
- NORTHCOTE, T.G. et al. (1991). **Contaminación en el lago Titicaca, Perú: Capacitación, Investigación y Manejo**. Wetswater Research Centre University of British Columbia, Vancouver, Canadá. Universidad del Altiplano – Puno .
- Plan de Ordenamiento Ambiental para la protección del reservorio Gallito Ciego y del valleagrícola” Proyecto Especial Jequetepeque
- Planas, M, (2010) Estudio de metales pesados en sedimentos en la cuenca del Jequetepeque, Perú. Proyecto Final de Carrera, ETSEIB, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona RESH, V.H., (2008).
- *Which group is best? 2008 Attributes of different biological assemblages used in freshwater biomonitoring programs*. Environ.Monit.Assess. 138:131-138.

- REINOSO F. GLADYS. 2003. Estudio del orden Trichoptera en su estado larval en la cuenca del rio Coello departamento del Tolima. Grupo de Investigación en Zoología, Universidad del Tolima, Colombia.
- RÍOS, B.; ACOSTA, R. y PRAT, N. (En preparación). *Distribution of macroinvertebrate communities in the high Andes and their tolerance to pollution. A review and proposal of a biotic index for high Andean streams (Andean Biotic Index, ABI).*
- RIOS T, ENCALA A, PRAT N, 2009 “Leaf Litter Dynamics and Its Use by Invertebrates in a High- Altitude Tropical Andean Stream” Freshwater and Management Group Departament de Ecologia Universitat de Barcelona
- T.A. DEL VALLS J.M.FORJA E. GONSALEZ-MAZO A. GOMEZ-PARRA 1998 “Determining contamination sources in marine sediment using multivariate analysis, Trac-Trends Anal. Chem 17”
- UNA - Universidad Nacional Agraria la Molina (1999). **Investigación y Monitoreo de los Ríos Carabaya- Ramis y Cabanillas y del Titicaca.** UNA - Facultad de Ciencias Forestales. Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Asuntos Ambientales. Lima Perú.
- U.S. Environmental Protection Agency. (USEPA) (2001). Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. Report N° 823-B-01-002.
- YACOU B C. MIRALLES N. (2012) Trace Metal Content of Sediments Close to Mine Sites in the Andean Region, Departamento d’Enginyeria Química ETSEIB Universidad Politecnica de Catalunya, Avenida Diagonal 647, Barcelona Spain.
- YACOU B C MIRALLES n, (2012) “Estudio para el desarrollo de un sistema de monitoreo del medio ambiente en la zona del Titicaca , Informe Final
- YACOU B, C.(2010). *Análisis de impactos ambientales en la cuenca del Jequetepeque, Perú, producidos por actividades mineras.* Congrès UPC sostenible.
- YACOU B C. (2009) *An evaluation of mine impacts in Andean Watersheds.* Proyecto de Tesis. Programa de Doctorat d’Enginyeria Ambiental. Universitat Politecnica de Catalunya.

## ANEXO

### PRUEBAS DE ANALISIS DE LOS COMPONENTES AMBIENTALES

#### Caso a) Titicaca

#### Resultados de análisis de agua PCA Titicaca

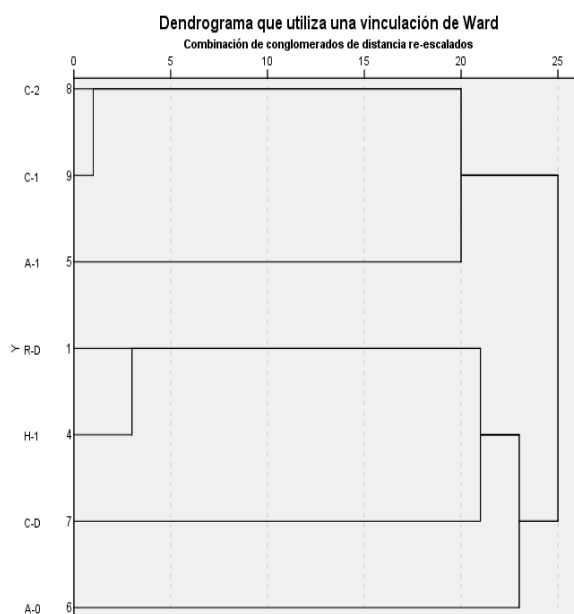
Comunalidades			Matriz de componentes rotadas					
	Inicial	Extracción		Componente				
				1	2	3	4	5
Calcio_H2O	1,000	,923	% VARIA	58,89	13,92	7,31	6,71	4,5
Cobre_H2O	1,000	,921	Potasio_	,910	-,034	,173	,286	,180
Estaño_H2O	1,000	,946	Estronci	,858	,389	-,124	-,055	,073
Estroncio_H	1,000	,912	Estaño_	,851	,342	,228	-,080	-,216
Fosforo_H2	1,000	,939	Mercurio	,828	,415	,185	,061	,219
Alumnio_H2	1,000	,978	Plomo_	,828	,283	,157	,263	,106
Arsenico_H2	1,000	,922	Cobre_H	,814	,391	-,130	-,017	,295
Bario_H2O	1,000	,980	Arsenico	,809	,499	,042	-,078	,103
Boro_H2O	1,000	,960	Hierro_H	,720	,577	,182	,118	,264
Cadmio_H2	1,000	,794	Sodio_H	,632	,388	,299	,221	,196
Hierro_H2O	1,000	,969	Titanio_	,250	,924	,067	,021	-,149
Litio_H2O	1,000	,904	Boro_H2	,300	,798	,279	-,200	,340
Magnesio_H	1,000	,955	Cadmio	,427	,697	,301	,184	,035
Manganeso	1,000	,955	Magnesi	,445	,658	,085	,562	,029
Mercurio_H2	1,000	,944	Mangan	,445	,658	,085	,562	,029
Plomo_H2O	1,000	,872	Silicio_H	,505	,533	,122	,220	,332
Potasio_H2	1,000	,973	Vanadio	,163	,102	,935	,182	-,109
Silicio_H2O	1,000	,712	Bario_H	,355	-,036	-,912	,028	,147
Sodio_H2O	1,000	,726	Alumnio	,579	,177	,717	,308	-,042
Titanio_H2O	1,000	,943	Zinc_H2	,574	,340	,674	-,031	,151
Vanadio_H2	1,000	,955	Fosforo_	,595	,319	,645	,235	,110
Zinc_H2O	1,000	,923	Calcio_	-,031	,001	,185	,938	,091
			Litio_H2	,215	,052	-,171	,098	,904

Puntuacione					
	F1	F2	F3	F4	F5
H1	1,207	-0,44675	1,45281	-1,4331	0,74367
A1	0,7054	1,98077	0,52945	1,86629	0,18009
A0	0,9064	0,41039	1,31617	-0,2627	-0,28349
RD	-0,3169	-0,33709	0,48516	-0,3367	-1,29677
H5	-1,4474	-0,88087	0,89146	1,29859	0,37228
H6	-0,9981	-0,78686	0,71896	0,02384	-0,68093
RI1	-0,0708	1,24939	-1,19668	-0,8021	-0,70141
RI2	-0,2834	0,84851	-0,60824	-0,5359	-0,44984
RI3	-0,9196	0,36118	-0,52627	-0,7921	2,55637
C1	1,773	-1,5048	-1,29509	1,19934	0,50635
C-D	0,3561	-0,69648	-0,95815	-0,6477	-0,71477
C2	-0,9116	-0,19739	-0,80959	0,42212	-0,23155

**Empelando el resultado de agua con la unión PCA S IC Titicaca**

Matriz de componentes rotadas				
	Componente			
	1	2	3	4
% Varianza	42,67	22,86	17,2	8,9
F4_Ca_H2O (mg/L)	,966	-,009	,230	-,017
Andean Biotic Index	-,877	-,105	,011	,468
F1_K_H2O (mg/L)	,706	,665	,004	,137
F3_Sb_SED (mg/kg)	,703	,328	,221	-,537
F3_Va_H2O (mg/L)	,115	,962	,210	,010
F2_Ti_H2O (mg/L)	-,002	,908	-,104	-,065
CERA	-,392	-,608	,509	,414
F2_Ni_SED (mg/kg)	,008	,008	-,973	,220
Bosque de Ribera	,434	-,062	,786	,384
F1_Zn_SED (mg/kg)	,455	,403	,619	,290
Habitat Fluvial	-,164	,024	,070	,976

	Puntuaciones			
	F1	F2	F3	F4
R-D	-0,63	-0,23	-1,44	-0,32
S-1				
T-1				
H-1	-0,53	1,41	-0,74	-0,13
A-1	1,59	0,74	0,50	-1,22
A-0	-0,54	0,87	1,15	1,41
C-D	-1,26	-0,93	0,99	-1,17
C-2	0,62	-0,79	-0,83	0,78
C-1	0,74	-1,08	0,37	0,65





**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

**Caso b) Forzando de componente 5 a 3 Titicaca los datos de agua**

Comunalidades				
	Inicial	Extracción	Extracción	Extracción
Calcio_H2O (mg/L)	1,000	,893	,861	,858
Cobre_H2O (mg/L)	1,000	,904	,907	,902
Estaño_H2O (mg/L)	1,000	,795	,848	,847
Estroncio_H2O (mg/L)	1,000	,869	,906	,903
Fosforo_H2O (mg/L)	1,000	,912	,931	,941
Aluminio_H2O	1,000	,916	,940	,951
Arsenico_H2O	1,000	,914	,907	,908
Bario_H2O	1,000	,939	,940	,937
Boro_H2O	1,000	,687		
Cadmio_H2O	1,000	,700	,652	
Hierro_H2O (mg/L)	1,000	,957	,923	,906
Litio_H2O (mg/L)	1,000	,408		
Magnesio_H2O (mg/L)	1,000	,782	,891	,886
Manganeso_H2O ( mg/L)	1,000	,782	,891	,886
Mercurio_H2O (mg/L)	1,000	,921	,939	,947
Plomo_H2O (mg/L)	1,000	,817	,838	,836
Potasio_H2O (mg/L)	1,000	,714	,725	,745
Silicio_H2O (mg/L)	1,000	,659		
Sodio_H2O (mg/L)	1,000	,720	,732	,760
Titanio_H2O (mg/L)	1,000	,550		
Vanadio_H2O (mg/L)	1,000	,932	,965	,966
Zinc_H2O (mg/L)	1,000	,857	,899	,892

Matriz de componentes rotadasa			
	Componente		
	1	2	3
Arsenico_H2O	,948	,080	,047
Estroncio_H2O (mg/L)	,945	-,094	,031
Mercurio_H2O (mg/L)	,935	,195	,186
Cobre_H2O (mg/L)	,935	-,140	,095
Hierro_H2O (mg/L)	,896	,181	,266
Estaño_H2O (mg/L)	,870	,296	-,041
Plomo_H2O (mg/L)	,840	,169	,319
Potasio_H2O (mg/L)	,801	,181	,267
Sodio_H2O (mg/L)	,731	,315	,356
Vanadio_H2O (mg/L)	,129	,958	,178
Bario_H2O	,345	-,905	,015
Aluminio_H2O	,538	,744	,330
Zinc_H2O (mg/L)	,660	,673	,055
Fosforo_H2O (mg/L)	,642	,658	,309
Calcio_H2O (mg/L)	-,117	,163	,904
Magnesio_H2O (mg/L)	,609	,124	,707
Manganeso_H2O (	,609	,124	,707

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			cuadrado de la extracción			cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	10,699	62,933	62,933	10,699	62,933	62,933	9,008	52,989	52,989
2	2,894	17,023	79,957	2,894	17,023	79,957	3,586	21,094	74,083
3	1,478	8,693	88,650	1,478	8,693	88,650	2,476	14,567	88,650
4	,678	3,986	92,636						
5	,406	2,390	95,026						
6	,353	2,076	97,102						
7	,193	1,136	98,238						
8	,160	,941	99,179						
9	,056	,328	99,507						
10	,051	,298	99,805						
11	,033	,195	100,000						
12	,000	,000	100,000						
13	,000	,000	100,000						
14	,000	,000	100,000						
15	,000	,000	100,000						
16	,000	,000	100,000						
17	,000	,000	100,000						

Puntuaciones				
H1	A1	1,10	1,35	-1,56
A1	A2	1,25	0,62	2,29
A0	A3	0,96	1,35	-0,07
RD	A4	-0,59	0,76	-0,63
C1	B4	0,98	-1,33	0,79
C-D	B5	0,06	-0,83	-0,81
C2	B6	-0,96	-0,83	0,27

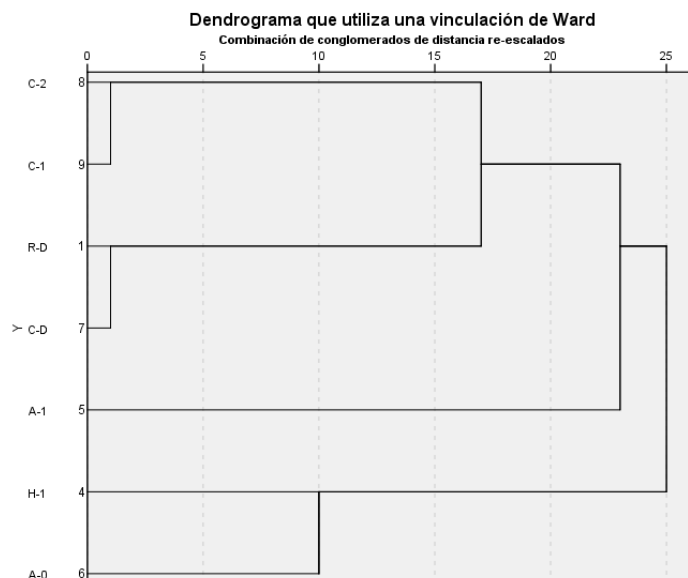
**Analizando los resultados de agua integrando en sedimento y IC**

Comunalidades		
	Inicial	Extracción
Habitat Fluvial	1,000	,973
Bosque de Ribera	1,000	,986
Andean Biotic Index	1,000	,995
CERA	1,000	,996
F1_Zn_SED (mg/kg)	1,000	,933
F2_Ni_SED (mg/kg)	1,000	,853
F3_Sb_SED (mg/kg)	1,000	,939
F1_As_H2O (mg/L)	1,000	,811
F2_Ca_H2O (mg/L)	1,000	,966
F3_Va_H2O (mg/L)	1,000	,998

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			de la extracción			la rotación		
	Total	varianza	acumulado	Total	varianza	acumulado	Total	varianza	acumulado
1	4,253	42,526	42,526	4,253	42,526	42,526	3,152	31,519	31,519
2	2,672	26,724	69,250	2,672	26,724	69,250	2,310	23,096	54,615
3	1,427	14,271	83,520	1,427	14,271	83,520	2,217	22,175	76,789
4	1,098	10,978	94,499	1,098	10,978	94,499	1,771	17,710	94,499
5	,455	4,553	99,052						
6	,095	,948	100,000						
7	,000	,000	100,000						
8	,000	,000	100,000						
9	,000	,000	100,000						
10	,000	,000	100,000						

Matriz de componentes rotados				
	Componente			
	1	2	3	4
% varianza	42,5	26,7	14,2	10,9
F2_Ca_H2O (mg/L)	,947	,196	,042	,171
Andean Biotic Index	-,947	,056	-,132	,280
F3_Sb_SED (mg/kg)	,824	,148	,354	-,337
F1_Zn_SED (mg/kg)	-,089	-,936	-,204	,086
Bosque de Ribera	,385	,747	,062	,525
CERA	-,434	,643	-,524	,345
F3_Va_H2O (mg/L)	,098	-,011	,991	,086
F1_As_H2O (mg/L)	,160	,520	,702	-,148
F2_Ni_SED (mg/kg)	,422	,360	,527	,518
Habitat Fluvial	-,350	-,001	-,026	,922

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**

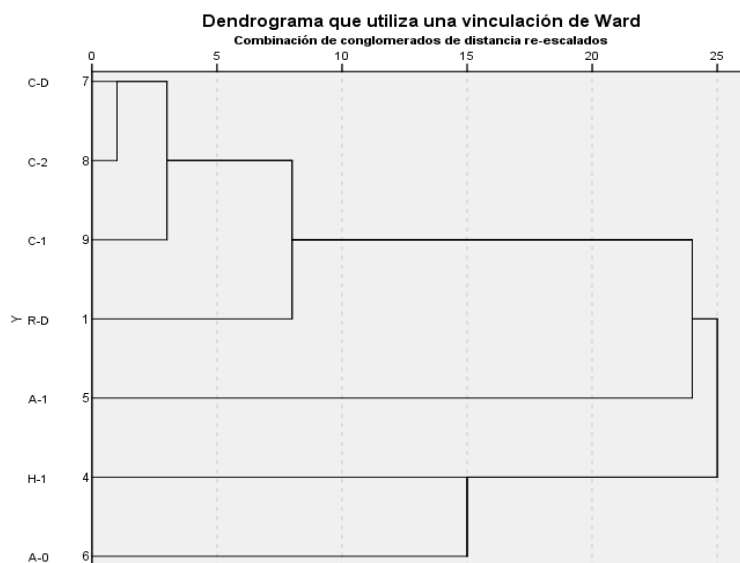


**Extrayendo de 4 a 3 factores los resultados de la unión**

Estadísticos descriptivos				Comunalidades		
	Media	típica	análisis		Inicial	Extracción
Habitat Fluvial	-43,000	9,0000	7	Habitat Fluvial	1,000	,652
Bosque de Ribera	-61,143	21,7748	7	Bosque de Ribera	1,000	,969
Andean Biotic Index	-33,571	16,4606	7	Andean Biotic Index	1,000	,970
CERA	-1,857	,8997	7	CERA	1,000	,956
F1_Zn_SED (mg/kg)	-,78556139	,402686704	7	F1_Zn_SED	1,000	,626
F2_Ni_SED (mg/kg)	-1,64610132	,180680313	7	F2_Ni_SED	1,000	,760
F3_Sb_SED (mg/kg)	-2,63951482	,157303642	7	F3_Sb_SED (mg/kg)	1,000	,935
F1_As_H2O (mg/L)	-1,54478571	,401558702	7	F1_As_H2O (mg/L)	1,000	,655
F2_Ca_H2O (mg/L)	2,12413414	,012152157	7	F2_Ca_H2O (mg/L)	1,000	,830
F3_Va_H2O (mg/L)	-3,09799757	,432166806	7	F3_Va_H2O (mg/L)	1,000	,998

Matriz de componentes rotadas			
	Componente		
	1	2	3
Andean Biotic Index	,968	-,132	-,122
F3_Sb_SED (mg/kg)	-,878	,235	,330
Habitat Fluvial	,751	,293	,050
F2_Ca_H2O (mg/L)	-,728	,543	,064
CERA	,611	,560	-,519
Bosque de Ribera	-,024	,980	,089
F1_Zn_SED (mg/kg)	,050	-,772	-,166
F2_Ni_SED (mg/kg)	-,103	,657	,564
F3_Va_H2O (mg/L)	-,072	,045	,995
F1_As_H2O (mg/L)	-,188	,411	,672

**“Desarrollo de un Análisis integral para Monitoreos ambientales en Cuencas Andinas”**



	Puntuaciones		
	F1	F2	F3
R-D	0,08929	-1,31667	-0,70942
H-1	0,31477	-1,22955	1,43759
A-1	-1,9921	0,53196	0,74731
A-0	1,35088	1,1463	0,95129
C-D	0,31116	0,15894	-0,7895
C-2	-0,0314	-0,30918	-0,85739
C-1	-0,0426	1,01821	-0,77988